



UNIVERSIDAD DE CORDOBA
TESIS DOCTORAL

**“REPERCUSIÓN DE LA IMPLANTACIÓN DE LOS HORNO
PACIFIC-HERRESHOFF EN LA METALURGIA DE LAS MINAS
DE ALMADÉN”**

DOCTORANDA

María Dolores Pérez Calle

DIRECTORES

Dr. José Tejero Manzanares

Dr. Francisco de Paula Montes Tubío

Córdoba, 2017

TITULO: *Repercusión de la implantación de los hornos PACIFIC-HERRESOFF en la metalurgia de las minas de Almadén.*

AUTOR: *María Dolores Pérez Calle*

© Edita: UCOPress. 2017
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

www.uco.es/publicaciones
publicaciones@uco.es



TÍTULO DE LA TESIS:

“Repercusión de la implantación de los hornos Pacific- Herreshoff en la metalurgia de las minas de Almadén”

DOCTORANDA:

D^a. MARÍA DOLORES PÉREZ CALLE

INFORME RAZONADO DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS:

D. FRANCISCO DE PAULA MONTES TUBÍO, Catedrático de la Universidad de Córdoba.
Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática.

D. JOSÉ TEJERO MANZANARES, Profesor Titular de la Universidad de Castilla La Mancha.
Departamento de Mecánica Aplicada e Ingeniería de Proyectos.

INFORMAN:

Que la Tesis Doctoral titulada *“Repercusión de la implantación de los hornos Pacific-Herreshoff en la metalurgia de las minas de Almadén”* de la cual es autora D^a. María Dolores Pérez Calle, ha sido realizada bajo nuestra dirección y cumple todos los requisitos para su publicación y defensa exigidos por la legislación vigente para optar al Título de Doctora por la Universidad de Córdoba.

El desarrollo del presente trabajo de investigación se ha llevado a cabo realizando una previa labor de búsqueda de archivos en la Fundación “Francisco Javier de Villegas” en Almadén referentes no sólo a la historia de las Minas de Almadén desde sus comienzos, si no también en la historia del metal y sus aplicaciones y centrando el mayor interés en la implantación de los últimos hornos utilizados en dicha mina hasta su cierre, con las

modificaciones sufridas durante la etapa de su funcionamiento y las ventajas que ellos supusieron respecto a técnicas anteriores: los hornos Pacific-Herreshoff,

La presente Tesis ha dado lugar a las siguientes publicaciones:

- Video de la reconstrucción virtual de los Hornos de Idria publicado en la Enciclopedia de Ingeniería de la Real Academia de Ingeniería de España e Institución Fernando el Católico, cuya referencia es:

PEREZ CALLE, M.D., TEJERO MANZANARES, J.(2014).

“Los Hornos de Idria en Almadén” de la colección Técnica e Ingeniería de España: El Ochocientos. De las profundidades a las alturas. Real Academia de Ingeniería, Institución “Fernando el Católico” y Prensas de la Universidad de Zaragoza. Volumen VII. Sección Minería.

- Capítulo de libro publicado en la Enciclopedia de Ingeniería de la Real Academia de Ingeniería de España e Institución Fernando el Católico, cuya referencia es:

MONTES TUBIO, F., PEREZ CALLE, M.D. (2013)

“Técnica e Industria en diversos sectores agroalimentarios” pp.175-256 de la colección Técnica e Ingeniería de España: El Ochocientos. De las profundidades a las alturas. Real Academia de Ingeniería, Institución “Fernando el Católico” y Prensas de la Universidad de Zaragoza. Volumen VII. Sección Minería. ISBN 978-84-9911-260-2. ISBN de la obra completa 978-84-7820-814-2.

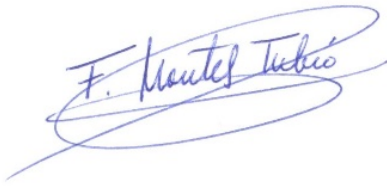
- Artículo publicado en la revista DYNA, cuya referencia es:

TEJERO-MANZANARES, J., GARRIDO-SAEZ, I., PEREZ-CALLE, M.D., MONTES-TUBIO, F. (2012)

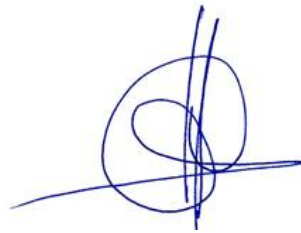
“La reconstrucción virtual en la recuperación del patrimonio metalúrgico de minas de Almadén”. 88 (3), pp 299-307 (España) 2013. ISSN 0012—7361.

Por todo ello, SE AUTORIZA presentar esta Tesis ante la Comisión de Doctorado de la Universidad de Córdoba, quedando firmado este informe a día 20 de Junio de 2017.

Los directores:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'F. Montes Tubío', enclosed within a large, loopy oval flourish.

D. Francisco De Paula Montes Tubío

A stylized handwritten signature in blue ink, featuring a large circular loop and several intersecting vertical and horizontal strokes.

D. José Tejero Manzanares

CONTENIDO

1. INDICE DE FIGURAS	9
2. INDICE DE TABLAS	11
3. AGRADECIMIENTOS	15
4. INTRODUCCIÓN	18
5. OBJETIVOS	22
6. METODOLOGIA	24
7. ANTECEDENTES	28
7.1 Generalidades sobre la metalurgia	28
7.1.1. El metal	28
7.1.2. Concepto y Origen de la Metalurgia.....	30
7.1.3. El término horno.....	35
7.1.4. El horno metalúrgico. Definición y Origen.	36
7.2. Datos geográficos, geológicos e históricos	44
7.2.1. La Comarca de Almadén	44
7.2.2. El municipio de Almadén	48
7.2.3. Ubicación de los hornos de Minas de Almadén	50
7.2.4. La geología del Distrito Minero de Almadén	52
7.2.5. Historia de Almadén.....	63
7.2.6. Monumentos y lugares de interés	69
7.2.7. Breve historia de las Minas de Almadén. El Yacimiento.....	82
7.2.8. Restos arqueológicos	88
7.2.9. Otros enclaves del patrimonio minero-industrial relacionados con la actividad minera	90
7.3. El mercurio	96
7.3.1. Azogue, bermellón y cinabrio.....	96
7.3.2. Características del metal y sus compuestos.....	101
7.4. Hornos Metalúrgicos en las Minas de Almadén	114
7.4.1. Generalidades	114
7.4.2. Hornos de Xabecas.....	116
7.4.3. Hornos de Reverbero.....	117
7.4.4. Hornos de Aludeles o de Bustamante.....	118
Intentos Fracasados	119
7.4.5. Hornos de Idria o de Cámaras.....	121
7.4.6. Hornos Pellet.....	123
7.4.7. Hornos Berrens	124
7.4.8. Hornos Lienders.....	126
7.4.9. Hornos Livermoor o de canales	127
7.4.10. Hornos Cermak-Spirek.....	128
7.4.11. Hornos Pacific-Herreshoff	131
7.4.12. Hornos Rotativos	136
7.5. Clasificación y composición de los minerales en las minas de Almadén	136

8. DESCRIPCIÓN DE LOS HORNOS PACIFIC-HERRESHOFF	140
8.1. Modificaciones a lo largo del tiempo en los hornos Pacific-Herreshoff	145
8.1.1. Preparación mecánica del mineral	145
8.1.2. Sistema de alimentación de los hornos.....	149
8.1.3. Uso como combustible del GLP Propano.....	150
8.1.3.1. Propano Industrial S.A. (1973)	151
8.1.3.2. Colegio Oficial de Ingenieros de Madrid (1973)	152
8.1.4. Recuperación de Mercurio de hollines.....	165
9.1.4.1. Junta de Energía Nuclear. Dirección de Química e Isótopos (1966).....	166
8.4.1.2. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (1968)	168
8.1.5. Recuperación de Mercurio del polvo de los gases	171
8.1.5.1. Lurgi Apparatebau Gesellschaft (1968).....	171
8.1.6. Hornos, Condensadores: Cuadro de control	176
8.1.6.1. Comsip Automación S.A. (1968).....	176
Hornos	177
Condensadores.....	182
Cuadro de Control	186
8.1.7. Aprovechamiento del calor de las escorias	188
8.1.7.1. Aplea (1981).....	188
8.1.8. Tratamiento de aguas residuales.....	197
8.1.8.1. Ingeniero de caminos Alfonso Álvarez-Cienfuegos (1990)	197
Aguas del circuito de condensación del mercurio	198
Aguas del enfriamiento de escorias	199
Aguas procedentes del tratamiento de hollines	200
Agua de lavado de patios	201
Aguas procedentes de la metalurgia secundaria.....	202
8.1.9. Desulfuración de Gases.....	208
8.1.9.1. Auma. Consultores en Medio Ambiente y Energía S.L. (2002).....	211
9. CONCLUSIONES	222
10. BIBLIOGRAFÍA	228
11. ANEXO DE PLANOS	234

1. INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Edades prehistóricas</i>	32
<i>Figura 2: Horno de fundición primitivo</i>	37
<i>Figura 3: Modelo de horno de reverbero</i>	39
<i>Figura 4: Esquema Convertidor Henry Bessemer</i>	41
<i>Figura 5: Horno Siemens-Martin</i>	43
<i>Figura 6: Plano Comarca de Almadén</i>	45
<i>Figura 7: Plano de la ciudad de Almadén.</i>	51
<i>Figura 8: Panorámica de las explotaciones mineras.</i>	51
<i>Figura 9: Vista exterior del Pozo de San Teodoro.</i>	53
<i>Figura 10 : Vista exterior del Pozo de San Joaquín.</i>	53
<i>Figura 11: Vista exterior del Pozo de San Aquilino.</i>	54
<i>Figura 12 : Tipos de yacimiento de Mercurio en el distrito de Almadén.</i>	56
<i>Figura 13: Capa de cuarcita mineralizada con Cinabrio rojo en la Mina del Entredicho.</i>	58
<i>Figura 14 : Capa Esquema geológico idealizado de la Mina de Almadén entre las platas 7ª a 9ª.</i>	58
<i>Figura 15 : Corte geológico de la mina Las Cuevas entre las plantas 1ª y 2ª (según Palero, 1997)</i>	59
<i>Figura 16: Mineralización de la mina de Las Cuevas.</i>	60
<i>Figura 17: Columna estratigráfica del yacimiento de Almadén (Hernández, 1984)</i>	61
<i>Figura 18: Situación de las zonas de estudio frente al volcanismo, sobre el plano de proyección</i>	62
<i>Figura 19: Explotación de Minas de Almadén</i>	62
<i>Figura 20: Panorámica oeste de Almadén. En primer término vista de las explotaciones mineras antes de su recuperación medioambiental y patrimonial.</i>	67
<i>Figura 21: Panorámica de las labores de recuperación de las escombreras.</i>	68
<i>Figura 22: Panorámica del Parque Minero de Almadén con la ciudad al fondo.</i>	68
<i>Figura 23: Plano situación de escombreras</i>	69
<i>Figura 24: Vista de los hornos de aludeles o de Bustamante</i>	71
<i>Figura 25: Centro de Interpretación del Mercurio (antiguo Almacén del Mercurio)</i>	72
<i>Figura 26: Fachada del Real Hospital de Mineros ya rehabilitado</i>	72
<i>Figura 27: Interior del Real Hospital de Mineros</i>	73
<i>Figura 28: Interior de los calabozos</i>	74
<i>Figura 29: Vista frontal Real Cárcel de Forzados.</i>	75
<i>Figura 30: Vista lateral Real Cárcel de Forzados</i>	75
<i>Figura 31: Distintas vistas del Castillo de Retamar</i>	76
<i>Figura 32: Plaza de Toros de Almadén</i>	77
<i>Figura 33: Interior de la iglesia parroquial</i>	77
<i>Figura 34: Distintas vistas de la Ermita de Fátima</i>	78
<i>Figura 35 : Iglesia de San Sebastián</i>	79
<i>Figura 36 : Casa de la Superintendencia</i>	79
<i>Figura 37: Explotación de Minas de Almadén en las distintas épocas desde el siglo XVI hasta el fin de su explotación.</i>	83
<i>Figura 38: Vista de tenajillas y pocetas de decantación de los restos de un horno Berrens.</i>	88
<i>Figura 39: Obras de urbanización del entorno del parque minero.</i>	89
<i>Figura 40 : Panorámica de los Hornos de aludeles</i>	89
<i>Figura 41 : Panorámica de los Pacific-Herreshof</i>	90
<i>Figura 42: Vista de la Puerta de Carlos IV</i>	91
<i>Figura 43: El baritel de las minas de Almadén, único en Europa que se encuentra bajo tierra.</i>	92
<i>Figura 44: Simulación de subida de carga mediante el malacate</i>	92
<i>Figura 45: Esquema de funcionamiento de la maquinaria del malacate</i>	93
<i>Figura 46: Vista exterior del Baritel de San Carlos (Almadenejos)</i>	94
<i>Figura 47: Vista interior del Baritel de San Carlos (Almadenejos)</i>	94
<i>Figura 48: Panorámica del Cerco de Buitrones (Almadenejos)</i>	95
<i>Figura 49: Piedra de mineral cinabrio procedente de la mina vieja de Almadén, en el cerco de San Teodoro.</i>	99
<i>Figura 50: Cristal de mineral cinabrio en dolomita</i>	100
<i>Figura 51: Tabla Periódica de los elementos</i>	103

Figura 52 : Tabla periódica del Mercurio	103
Figura 53: Hornos de metalurgia Pacific.	112
Figura 54: Distintos modelos de frascos, unidad internacional de comercialización del Mercurio (34,5 kg Hg)	113
Figura 55: Hornos de Xabecas	116
Figura 56: Vista en perspectiva de los hornos de Idria en Almadén	123
Figura 57: Sección de un horno de Idria en Almadén	123
Figura 58: Hornos Berrens	125
Figura 59: Plano de detalle hornos Lienders de 1885	126
Figura 60: Horno tipo Livermoor	128
Figura 61: Hornos Spirek (Hornos Almadén o de Torres)	129
Figura 62: Render de la reconstrucción virtual de los hornos Almadén. Vista sureste del edificio	130
Figura 63: Render de la reconstrucción virtual de los Hornos Almadén: vasos y sistema de condensación más contorno de huecos del edificio que los acogen (vista Noreste)	130
Figura 64: Detalle de conductos de aire de refrigeración (1952)	131
Figura 65: Detalle pasarelas para el transportador	132
Figura 66: Detalle de plataformas y soportes en machacadora secundaria (1952)	132
Figura 67: Detalle del sistema de descarga del mineral quemado (1958)	133
Figura 68: Detalle de depósito para mineral quemado (1959)	133
Figura 69: Vista aérea de desde el Oeste de los hornos Pacific de Almadén.	134
Figura 70: Detalle de la situación del mechero en horno Pacific (1978)	135
Figura 71: Hornos Pacific en la mina de Siele	140
Figura 72: Esquema general del proceso de obtención de mercurio desde el cinabrio	141
Figura 73: Detalle de la trituradora de mineral (1952)	142
Figura 74: Dibujo de Hornos Pacific de soleras múltiples	143
Figura 75: Detalle de plano de horno Pacific instalado en Almadén	144
Figura 76: Esquema de la preparación mecánica en el pozo de San Teodoro	145
Figura 77: Detalle extraído de la figura 75. Tolla de todo uno.	146
Figura 78: Detalles de la tolva del todo uno de 400 T (1960)	146
Figura 79: Detalle del alimentador vibrante a la quebrantadora primaria (1952)	148
Figura 80: Esquema del circuito del mineral hasta las ollas	149
Figura 81: Detalle depósito GLP (1973)	155
Figura 82: Vaporizador con caldera	157
Figura 83: Detalle de tubería enterrada	159
Figura 84: Detalle de señales de seguridad de la instalación	160
Figura 85: Detalle de plano general (1973)	161
Figura 86: Tratamiento de hollines manual	166
Figura 87: Planta de tratamiento de hollines en Almadén (1968)	169
Figura 88: Instalación para la separación del mercurio de los hollines según patentes 356.358 y 442.970	170
Figura 89: Esquema con puntos de medida	173
Figura 90: Detalle extraído de la figura 89. Punto de medición (a).	173
Figura 91: Detalle extraído de la figura 89. Punto de medición (b).	174
Figura 92: Detalle extraído de la figura 89. Ciclón detrás del horno.	175
Figura 93: Esquema de control de la marcha semiautomática de los hornos Pacific (1968)	180
Figura 94: Esquema de regulación de los hornos (1970)	181
Figura 95: Sala de control de los hornos (1971)	182
Figura 96: Torre de lavado de horno Pacific	183
Figura 97: Detalle de automatización del lavado de condensadores. Esquema de principio. (1968)	185
Figura 98: Detalle del lavado de condensadores (1968)	186
Figura 99: Cuadro de control (1968)	187
Figura 100: Esquema de la obtención de condensado para muestras	194
Figura 101: Esquema obtención agua caliente por riego de las tolvas	195
Figura 102: Obtención de vapor flash	196
Figura 103: Hoja de flujo de las aguas de condensación (1990)	199
Figura 104: Hoja de flujo de aguas de apagado de escorias (1990)	200
Figura 105: Hoja de flujo del agua de lavado y lluvias recogidas en los patios (aguas de túnel) (1990)	201
Figura 106: Esquema del tratamiento físico-químico del agua de vertidos	203
Figura 107: Esquema del filtro de prensa usado en las minas de Almadén	204

<i>Figura 108: Hoja de flujo de aguas procedentes de ácido rojo (1990)</i>	205
<i>Figura 109: Detalle de planta de situación y planta de instalaciones de MAYASA (1990)</i>	208
<i>Figura 110: Instalación de desulfuración de gases. Plano de situación (2002)</i>	212
<i>Figura 111: Instalación de desulfuración de gases. Disposición general (2002)</i>	212
<i>Figura 112: Instalación de desulfuración de gases. Implantación del lavado de gases (1 de 2) (2002)</i>	214
<i>Figura 113: Instalación de desulfuración de gases. Implantación del lavado de gases (2 de 2) (2002)</i>	214
<i>Figura 114: Instalación de desulfuración de gases. Diagrama de la instalación de desulfuración de gases (2002)</i>	217

2. INDICE DE TABLAS

<i>Tabla I: Parámetros fundamentales de funcionamiento de los hornos de fusión</i>	44
<i>Tabla II: Características y propiedades del Mercurio</i>	104
<i>Tabla III: Características del Propano</i>	153
<i>Tabla IV: Comparación consumo gasoil frente a consumo de propano</i>	163
<i>Tabla V: Valores máximos permitidos contenido en aguas de vertido</i>	207

A mi Ángel de la guarda, mi padre.

3. AGRADECIMIENTOS

En pocas líneas quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Prof. Francisco Montes Tubío, Paco, que ya habrá incluido en su día a día los eternos agradecimientos que todos le dedican. Agradecida estaré siempre por haberle conocido. Por confiar en mí desde el primer día y por enseñarme que al final todo tiene solución. Gracias.

Al Prof. José Tejero Manzanares, Pepe, que ha sido ejemplo de constancia y voluntad para mí. Que me ha abierto una puerta a un mundo que desconocía demostrando la inagotable pasión que tiene por sus orígenes, su pueblo y su gente. Persona de principios y de valores arraigados, ejemplo a seguir, sin duda alguna. Gracias.

A Luis Ángel Úbeda, que me abrió las puertas de la Fundación Francisco Javier de Villegas con la misma ilusión por este trabajo que yo. Gracias.

A los que fueron, y son, mis compañeros en el departamento de Ingeniería Gráfica: Enrique Burgos, Pilar Carranza y Rafa Hidalgo. Sin olvidar a Pepe Martínez. También a Paco Jurado, siempre respondiendo a mis llamadas de auxilio. Gracias.

A los compañeros de la Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén. Ya hemos creado un nexo de unión que está viendo sus frutos. Gracias.

A Moisés, que no ha dejado de recordarme que esto me lo debía a mí misma. Muchas gracias.

A mi familia, que me ha dado la oportunidad de estudiar y de formarme. Y están siempre cuando los necesito. Mil gracias.

Y, por último, pero no menos importante, a Yiya y a Ana. Mis amigas y mis hermanas. Pura demostración del amor y de la paciencia. Soy afortunada por teneros.

INTRODUCCIÓN

4. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación pretende contribuir a la recuperación, protección y fomento del conocimiento del conjunto de bienes inmuebles y muebles, patrimonio arqueológico y documental, existente en la localidad de Almadén, en el actual Parque Minero de dicha localidad, y en los Archivos la Fundación Francisco Javier Villegas, relacionados con la minería.

Dicho estudio se pretende abordar desde la Ingeniería Minera contemplando asimismo los factores históricos de la explotación de las minas, el entorno sociológico, laboral y sanitario de los mineros.

La historia de las Minas de Almadén es larga y rica no solo por su producción ininterrumpida de mercurio desde el siglo III a. de C. hasta la actualidad, sino también por los importantes acontecimientos históricos vinculados a la Mina.

En la época romana se estimaba mucho el cinabrio duro que procedía de *Sisapo o Sisalone*, nombre con el que se conocía antiguamente a Almadén. Romanos y árabes explotaron la mina, extrayendo cinabrio. Este mineral, de color rojo, se utilizaba para pintar y teñir.

A partir del siglo XVI, el mercurio se convierte en un bien con gran valor por su utilidad en la amalgamación del oro y la plata que provenían de América. Durante los siglos XVI y XVII la mina se arrendó a los banqueros alemanes Függer para pagar los préstamos concedidos a Carlos I para los gastos de su coronación. La mayor parte del azogue producido, se enviaba a Sevilla, desde donde se embarcaba a América. Era el azogue un bien de tal importancia para la economía española en América, que todos los envíos de mercaderías hacia este continente se ajustaban a la producción de azogue y, por lo tanto, a las vicisitudes de la producción de la mina de Almadén y de su embarque en Sevilla. Llegaron a construirse barcos especialmente diseñados para el transporte del mercurio, como el "Tolosa", de 1.500 toneladas, y el "Guadalupe" de 1.000 toneladas.

Los antecedentes del proyecto propuesto se encuentran en los trabajos de investigación que durante décadas vienen realizando investigadores y la mencionada Fundación Almadén. A pesar de que estas minas se conocen desde tiempos muy remotos, ninguno de los investigadores que han invertido su tiempo en ellas ha logrado fijar con

precisión el origen de las mismas **(ESCOSURA Y MORROGH, L. (1878) Historia del tratamiento metalúrgico del Azogue en España. Madrid).**

Estas investigaciones sobre el tema de las minas de Almadén se han realizado a nivel particular, ya que hasta el cierre definitivo de las minas, el interés prioritario ha sido su explotación. El Mercurio empezó a granjearse una gran importancia cuando en el año 1554 fue descubierto el proceso de amalgamación del Mercurio con el Oro y la Plata por Bartolomé de Medina **(MATILLA TASCÓN, A. (1958) Historia de las Minas de Almadén. Volumen I. y Volumen II. Ed. Gráficas Ocas. Madrid).**

El trabajo más importante sobre esta temática realizado por otros grupos de investigación fue la propuesta transnacional para Patrimonio Mundial Material del denominado “Binomio Mercurio y Plata en el Camino Real Intercontinental”, que nace el 23 de Agosto de 2007 en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Minas de la Universidad de Vigo y que pone en valor la ruta creada por el Imperio español en el siglo XVI compuesta por las minas de mercurio de Idria (Eslovenia), Almadén (España) junto con las de Plata de San Luis de Potosí (México).

Este grupo participó en la preparación de la candidatura de cuatro explotaciones mineras, entre ellas Almadén dentro de la Ruta del Mercurio, para su declaración de Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, conseguida por fin el 30 de junio del 2012.

Tras la clausura de estas minas se desarrolló la idea de la creación del Parque Minero hoy existente para la puesta en valor, recuperación y difusión del amplio patrimonio minero de la zona. Esta tesis aportará algo más a ese patrimonio que tantos esfuerzos está conllevando.

OBJETIVOS

5. OBJETIVOS

Los objetivos de esta Tesis son:

- Análisis de los hornos Pacific-Herreshoff o de soleras múltiples en las Minas de Almadén.
- Evolución tecnológica de los 50 años de funcionamiento en la localidad minera ciudarealeña.
- Repercusiones tecnológicas de implantación de los hornos Pacific-Herreshoff en la historia reciente de las minas de Almadén.

METODOLOGIA

6. METODOLOGIA

Tras la realización de mi Trabajo Final de Máster que se centró en el estudio comparativo entre los hornos de Bustamante y los hornos de Idria o de Cámaras, reconocí de inmediato las posibles líneas futuras de investigación existentes en este campo relacionado con las instalaciones mineras en Almadén.

Fueron objeto de mi curiosidad los hornos que mejor se conservaban en dichas instalaciones, ya que fueron los que estuvieron funcionando hasta el momento del cierre en el año 2003: Los Pacific-Herreshoff. No sólo porque el testimonio visual era evidente ya que les conservaban perfectamente, si no porque abarcan una época en la historia dónde la tecnología sufrió grandes avances y donde la Química, mi doctrina, tuvo mucho que ver.

La metodología seguida para iniciar este trabajo de investigación consistió en una primera labor de campo sobre las instalaciones de las Minas de Almadén para luego seguir con la inmersión en los archivos de la Fundación Francisco Javier de Villegas (Antiguo Real Hospital de Mineros) para comprobar si dispondría o no de material suficiente a cerca de estos hornos para realizar este trabajo. La sorpresa fue grata al encontrar material de gran calidad desde los inicios de su construcción, a principios de los años 50, hasta poco antes del cierre de las minas.

Estos legajos abarcan desde proyectos, presupuestos, planos, esquemas y otro tipo de informaciones valiosas para poner en valor las ventajas que tuvo la instalación de estos hornos en diferentes aspectos: laborales, sanitarias, económicas, etc.

No siempre ha sido posible fundamentar los diferentes documentos encontrados, por lo que en varios momentos durante el desarrollo de este trabajo ha sido necesario levantar hipótesis que hagan tomar sentido a la evolución.

La búsqueda bibliográfica para encontrar evidencias o atisbos ha sido profunda pero en ciertas ocasiones contradictoria. Varios autores e incluso trabajadores de organismos han escrito alguna vez sobre estas instalaciones y sus hornos, ya que la tipología de estos últimos ha sido variada debido a la cantidad de años que estuvieron

funcionando las Minas de Almadén y las grandes producciones de mercurio que se manejaron. Además, hay que tener en cuenta que no solo encontramos publicaciones en español, ya que la tecnología implantada en Almadén fue algunas veces copiada en otras instalaciones de explotación minera.

Gracias a este trabajo y al de otros compañeros, se está dando a conocer lo importante que esta localidad ha sido para el patrimonio industrial español, así pues, si con nuestras aportaciones logramos poner en valor lo que en su día lo tuvo, y mucho, ya estaremos contribuyendo a la historia con gran satisfacción.

ANTECEDENTES

7. ANTECEDENTES

7.1 Generalidades sobre la metalurgia

7.1.1. El metal

Se denomina **metal** a los *elementos químicos caracterizados por ser buenos conductores del calor y la electricidad, poseen alta densidad, y son sólidos a temperaturas normales (excepto el Mercurio y el galio); sus sales forman iones electropositivos (cationes) en disolución. Tienen la capacidad de reflejar la luz, lo que le da su peculiar brillo.*

El concepto de metal se refiere tanto a elementos puros como a aleaciones con características metálicas como son el acero y el bronce.

Los metales, en función de su densidad, se clasifican en:

- **Ultraligeros:** de densidad inferior a 2 gr/cm^3 , siendo los más comunes de este tipo el magnesio y el berilio.
- **Ligeros:** de densidad inferior a $4,5 \text{ gr/cm}^3$, siendo los más comunes de este tipo el aluminio y el titanio.
- **Pesados:** de densidad superior a $4,5 \text{ gr/cm}^3$, son la mayoría de los metales.

La mayoría de ellos son de color grisáceo, pero algunos presentan colores distintos; el bismuto (Bi) es rosáceo, el cobre (Cu) rojizo y el oro (Au) amarillo. En otros metales aparece más de un color; este fenómeno se denomina *policromismo*.

Otras propiedades son:

- **Maleabilidad:** capacidad de los metales de hacerse láminas al ser sometidos a esfuerzos de compresión.
- **Ductilidad:** propiedad de los metales de moldearse en alambres e hilos al ser sometidos a esfuerzos de tracción.

- **Tenacidad:** resistencia que presentan los metales a romperse al recibir fuerzas bruscas (golpes, etc.)
- **Resistencia mecánica:** capacidad para resistir esfuerzo de tracción, compresión, torsión y flexión sin deformarse ni romperse.

Además, suelen ser opacos o de brillo metálico, tienen un punto de fusión alto y son materiales que pueden dilatarse ampliamente en parte debido a su conductibilidad. Las dilataciones son perceptibles a veces aún con los cambios de temperatura ambiental.

Los metales están destinados a distintos usos, algunos de ellos muy especiales. Los pigmentos amarillos y anaranjados del cadmio son muy buscados por su gran estabilidad, como protección contra la corrosión, para las soldaduras y las aleaciones correspondientes y en la fabricación de baterías de níquel y cadmio, consideradas excelentes por la seguridad de su funcionamiento. También se le utiliza como estabilizador en los materiales plásticos (PVC) y como aleación para mejorar las características mecánicas del alambre de cobre. Su producción se lleva a cabo en el momento de la refinación de zinc, con el que está ligado. Se trata de un contaminante peligroso.

El litio, metal ligero, se emplea principalmente en la cerámica y en los cristales como catalizador de polimerización y como lubricante, así como para la obtención del aluminio mediante electrolisis. También se emplea para soldar, en las pilas y en las baterías, en medicina (tratamiento para los maníaco-depresivos) y en química.

El níquel, a causa de su elevada resistencia a la corrosión, sirve para niquelar los objetos metálicos, con el fin de protegerlos de la oxidación y de darles un brillo inalterable en la intemperie.

El denominado "hierro blanco" es, en realidad, una lámina de acero dulce que recibe un baño de cloruro de zinc fundido y a la que se da después un revestimiento especial de estaño.

Los usos del oro, la plata y el Mercurio se expondrán más adelante por la estrecha relación existente entre los dos primeros con el último, objeto de nuestro estudio.

7.1.2. Concepto y Origen de la Metalurgia.

Una de las definiciones que podemos hacer de *Metalurgia* es la de *técnica para la obtención y tratamiento de los metales desde minerales metálicos, incluyendo la producción de aleaciones*. También se puede definir como *el arte de depurar los minerales y de extraer los metales que contienen*.

Por tanto, *Metalurgia* es la ciencia aplicada cuyo objeto es el estudio de las operaciones industriales tendentes a la preparación, tratamiento (físico y/o químico) y producción de metales y sus aleaciones. Pero aún va más allá, se encarga del estudio de las propiedades y estructuras de los metales. Es una ciencia muy extensa, tanto como la variedad de metales presentes en la naturaleza y susceptibles de poder ser utilizados por el hombre y, sobre todo, por los millones de aplicaciones distintas que el metal puede cubrir.

La ***Metalurgia química*** o de ***proceso*** tiene por objeto la extracción de metales de sus minerales y su posterior refinación. Una operación previa a la extracción de metales es la concentración de menas. Para ello se emplean métodos físicos como lixiviación, fisicoquímicos como la flotación y químicos como la digestión.

En términos generales, la técnica metalúrgica comprende las siguientes fases:

- Obtención del metal a partir de la mena o mineral que lo contiene en estado natural, separándolo de la ganga.
- El afino, enriquecimiento o purificación: eliminación de las impurezas que quedan en el metal.
- Elaboración o preparación de aleaciones.
- Tratamientos mecánicos, térmicos o termoquímicos para su mejor utilización que se pueden clasificar en operaciones físicas como el triturado, molido, filtrado (a presión o al vacío), centrifugado, decantado, flotación, separación por densidad, disolución, destilación, secado, precipitación física y operaciones químicas como la tostación, oxidación, reducción, electrólisis, hidrólisis, lixiviación mediante reacción ácido-base, precipitación química, electrodeposición, cianuración.

Existen diversos tipos de **técnicas metalúrgicas**, según sea el metal que se quiere beneficiar o el proceso utilizado. Así, se distinguen la **Siderurgia** como la técnica del tratamiento del mineral de hierro para obtener diferentes tipos de éste o de sus aleaciones (acero) desde su extracción en las minas; las **Metalurgias Especiales** en el caso del cobre, aluminio, cinc, plomo, estaño, etc.; la **Pulvimetalurgia o Metalurgia de polvos** como el proceso de fabricación que, partiendo de polvos finos y tras su compactación para darles una forma determinada (compactado), se calientan en atmósfera controlada (sinterizado) para la obtención de la pieza (es adecuado para la fabricación de grandes series de piezas pequeñas de gran precisión, para materiales o mezclas poco comunes y para controlar el grado de porosidad o permeabilidad como en rodamientos, árboles de levas, herramientas de corte, segmentos de pistones, guías de válvulas, filtros, etc.) y la **Electrometalurgia**, tratamiento de los metales mediante la electricidad (muchos procesos de reducción de menas metálicas o de refinación de metales se basan en la electrólisis).

La aparición de la Metalurgia es un elemento reciente visto desde la escala general de la historia, pero de tal importancia para el ser humano que no sería posible entender sin él el flujo de la historia, ni las sociedades contemporáneas. Así, se ha considerado su descubrimiento el hito que marca un antes y un después en las sociedades prehistóricas.

En 1836, el danés C. J. Thomsen expone el *Sistema de las Tres Edades* para clasificar el material prehistórico: propone que los materiales se dividan según provengan de la *Edad de Piedra*, de la *Edad del Bronce* o de la *Edad del Hierro*. Este sistema fue rápidamente aceptado por los investigadores y supuso un importante avance conceptual. Los artefactos prehistóricos podían ordenarse cronológicamente y así se proporcionaba un método eficaz para el estudio del pasado. Hoy día, dicha clasificación, con modificaciones que no dejan de ser importantes, sigue vigente. Esto es así porque está comprobado que el primer material que se utilizó, por su facilidad de manipulación, fue el cobre a lo largo de una etapa que tuvo una duración de un milenio, por lo que realmente se puede decir que tendríamos la Edad de Piedra y la Edad de los Metales, esta última abarcando las Edades del Cobre (ó Calcolítico ó Eneolítico), del Bronce y del Hierro.

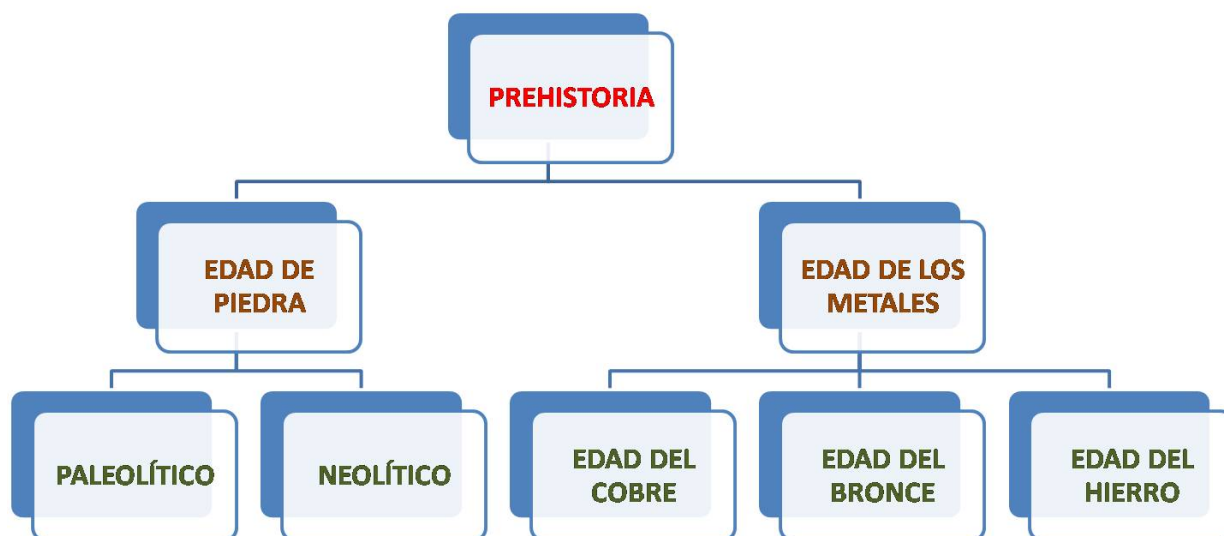


Figura 1: Edades prehistóricas
Fuente: mdcvillafranca.blogspot.com.es

En una primera etapa **Pre-Metalúrgica**, existen evidencias de que el hombre prehistórico se vio atraído desde épocas tempranas por los minerales metálicos, en unos casos por su singularidad o belleza como en el caso de la malaquita o azurita (ambos minerales de cobre) y en otros, por su capacidad para utilizarlos en la decoración del cuerpo, tejidos o diversas superficies.

En la **Edad del Cobre**, como se comentó con anterioridad, el primer metal que se trabajó, sin duda por la facilidad de hacerlo, fue el cobre nativo.

El cobre fue el primer metal que utilizó el ser humano para fabricar utensilios, y lo hizo hace aproximadamente 5.000 años, a finales del Neolítico, siendo el primer metal dominado por las culturas antiguas, a pesar de que su punto de fusión es superior al del bronce o el hierro. En la Península Ibérica el uso del cobre se generaliza hace 4.000 años, coincidiendo con las construcciones megalíticas y la cultura del vaso campaniforme.

Otros metales trabajados de manera pre-metalúrgica son el oro, el platino y la plata nativa (muy escasa esta última en estado natural) y asociados a trabajos de orfebrería. Y también el hierro nativo o el meteórico.

En la **Edad del Bronce** las aleaciones cupríferas de la antigüedad se realizaban con elementos como el antimonio, el plomo o el arsénico pero, aunque la utilización de este último es bastante común en determinados momentos, la aleación reina es, sin duda, la del cobre con estaño, es decir, el **bronce**. Añadiendo al cobre un 10% de estaño se obtienen varias ventajas en el material resultante como es disminuir la temperatura de fusión, la obtención de un metal fundido de una gran fluidez y, por supuesto, la mayor dureza del bronce que del cobre. Sin embargo, un exceso de estaño, más de un 13%, vuelve al bronce quebradizo lo que lo hace inservible para objetos utilitarios. No se conoce a fondo ningún taller que refleje el proceso completo de la metalurgia del bronce, aunque sí se conocen los aspectos principales de dicha actividad.

Los primeros en entrar en la **Edad del Hierro** fueron los hititas en el área de Palestina y solo fueron necesarios unos siglos para que a continuación lo hiciera todo el mundo antiguo. La Edad del Hierro comienza a finales del II milenio a.C. y el conocimiento del carburado fue decisivo en su expansión. Aunque el trabajo del hierro es el más difícil de realizar de entre todos los metales, las posibilidades que ofrece, su mayor eficacia y la dificultad de abastecerse de cobre y estaño hicieron que el hierro sustituyera a las labores asociadas al cobre de manera bastante rápida. Estas circunstancias estimularon el perfeccionamiento de la siderurgia que llevaron a que, en épocas prehistóricas, se consiguieran temperaturas de hasta 1.300 °C. El mineral de hierro es muy abundante en la tierra, supone el 5% del peso de la corteza terrestre, por lo que su aprovisionamiento no es difícil pero, sin embargo, son necesarios combustibles de una alta capacidad calorífica para su reducción. Generalmente, se utilizó el carbón vegetal.

Existen diferentes procedimientos para la obtención del metal de hierro. El primero, llamado procedimiento directo, se obtiene en horno de cubeta. La reducción se realiza a una temperatura menor que la de fusión (1.536 °C). Mediante este procedimiento se obtiene una mezcla de hierro y escoria que, tras un insistente martillado, nos proporciona un metal más o menos homogéneo. Así se obtiene el hierro dulce, muy puro (con menos de un 0'02% de carbono), pero a la vez excesivamente dúctil y de escasa dureza. Si queremos aumentar esta lo podemos conseguir mediante su introducción en

carbono, con lo que conseguimos un mayor nivel de carburación del metal, lo que aumenta la dureza. *El **hierro carburado** no es otra cosa que el **acero**.*

El hierro se puede trabajar mecánicamente, es lo que se llama el **forjado**, método por el que se pueden conseguir artefactos de una gran variedad. También se puede tratar térmicamente de varias formas:

- **Recocido**, calentarlo y dejarlo enfriar lentamente, con lo que se obtiene una estructura de mayor equilibrio,
- **Templado**, que consiste en enfriarlo bruscamente en agua, lo que lo hace duro y fácil de afilar, aunque quebradizo y
- **Revenido**, que consiste en, tras el templado, volverlo a calentar y dejarlo enfriar lentamente, lo que hace disminuir su fragilidad.

Otro método general de trabajo del hierro es el indirecto, que se realiza en altos hornos y produce un metal fundido que se puede llevar a moldes y tiene un alto porcentaje de carbono (de un 1,7% a un 6,7%). Este método de obtención del hierro colado no se conoció en Europa hasta el siglo XI-XII d.C., pero se dominaba ya en China desde el siglo IV a.C. Antes de la revolución industrial, el mejor metal de hierro era el *damasquinado*, que se fabricaba mediante varillas de hierro dulce y hierro carburado, soldadas y martilladas conjuntamente, dando como resultado un material que aúna flexibilidad, resistencia y dureza.

Existe gran dificultad a la hora de establecer secuencias típicas en el desarrollo de la metalurgia. Por ejemplo, Renfrew, siguiendo a T. Wertime, propone un modelo de desarrollo de las primeras metalurgias, que seguirían las siguientes fases:

- 1) Utilización del cobre nativo
- 2) Martilleo en frío del cobre nativo
- 3) Calentamiento del cobre nativo
- 4) Fusión del cobre a partir del mineral
- 5) Colado del cobre en un molde abierto
- 6) Molde de núcleo y uso del molde en dos piezas

- 7) Aleación con arsénico o con estaño
- 8) Moldeo mediante la técnica de la cera perdida

Para otros autores, este tipo de modelos de desarrollo es criticable en la medida en que no se pueden aplicar a muchos casos, como es el del desarrollo de la metalurgia en el Nuevo Mundo, o el del África Ecuatorial donde se conoció el hierro ya en el siglo IV a.C., antes que los demás metales.

Se piensa que la Metalurgia es la innovación tecnológica que marca la separación entre Neolítico y Edad de los Metales. Hoy en día, la mayoría de los autores opinan que la Metalurgia es una consecuencia de la mayor evolución social de la sociedad neolítica.

7.1.3. El término horno

Del latín *furnus*, un horno es un dispositivo que permite generar calor y mantenerlo dentro de un cierto compartimento, de esta manera puede cumplir con ciertas funciones como la cocción de alimentos o la fundición de minerales.

Otra de las definiciones que se puede hacer de horno es la de aquella construcción cerrada hecha con materiales refractarios y, generalmente, con una abertura pequeña de respiradero y otras como bocas, dentro de la cual se consiguen elevadas temperaturas mediante el fuego.

El horno tradicional era un recinto formado por una fábrica de tapial o adobes que acababa convirtiéndose en un bloque de material de alfarería por la cocción por calor. Tenían forma de pequeña bóveda sobre una base plana y una sola abertura: la entrada. Se calentaba mediante un fuego de leña que se dejaba consumir. El grosor, la inercia térmica de la envoltura, guarda el calor. La base donde se produce la combustión se limpia de cenizas y en ella se colocan los alimentos que deben asarse.

Los hornos, según las finalidades a que se destinan, se pueden clasificar en:

- hornos metalúrgicos
- hornos de fundición
- hornos para la fusión de aleaciones

- hornos para tratamientos térmicos
- hornos cerámicos
- hornos de vidrio
- hornos de acero
- hornos de cemento
- hornos para recocer
- hornos de caldeo
- hornos de desecación, tostación, sublimación, calcinación, afinado
- hornos de cocer pan
- hornos de pastelería, etc.

La energía calorífica utilizada para alimentar un horno puede obtenerse directamente por combustión de leña, gas u otro combustible, por radiación (luz solar), o indirectamente por medio de electricidad (horno eléctrico).

7.1.4. El horno metalúrgico. Definición y Origen.

Una de las definiciones que se pueden hacer de **horno metalúrgico** es la de *equipo utilizado en el procesamiento de minerales para producir transformaciones mediante la aplicación sostenida de calor proveniente de la combustión de un material combustible o de energía eléctrica*.

Los hornos que se usan para fundir metales y sus aleaciones varían mucho en capacidad y diseño; desde los pequeños hornos de crisol, que contienen unos cuantos kilogramos de metal, a hornos de hogar abierto de hasta 200 toneladas de capacidad.

Los primeros hornos metalúrgicos consistían en vasijas cerámicas en donde se introducía la mena metalífera. Esta vasija se enterraba en el suelo de un horno el cual se calentaba mediante madera ardiente y un fuelle. Se dejaba enfriar la vasija y se rompía, con lo que quedaba separado el metal de sus impurezas.

Efectivamente, en la metalurgia más primitiva un horno de fundición tan sólo era un hoyo en la tierra en donde se introducían varas para el soplado del combustible y el

aumento consiguiente de la temperatura. Este, así esquematizado, al menos posee una protección lateral y un fuelle de pieles. La carga de mineral, siempre de metal oxidado o carbonatado, se mezclaba con carbón vegetal.

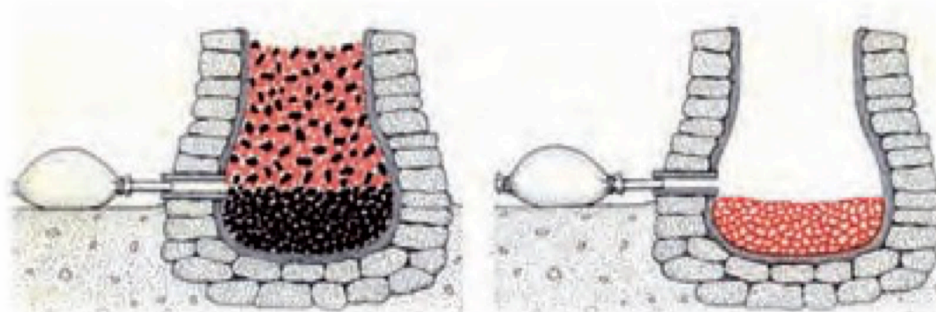


Figura 2: Horno de fundición primitivo

Fuente: ingenierosdeminas.org

Los primeros intentos fueron 4.000 años a.C. de forma casual. Los primitivos hornos eran simples cavidades circulares con minerales y combustible en las que el viento era el que lo mantenía vivo. Luego los hicieron en las pendientes ventosas de las colinas y, mucho después, utilizaron tubos de soplado.

Más adelantada la Edad de Bronce, se inició la utilización de moldes bivalvos, preferentemente cerámicos.

Los primeros hornos destinados a la fusión de metales fueron, con toda probabilidad, los **hornos de crisol**. Estos hornos son de calentamiento indirecto; es decir, la carga no está en contacto directo ni con los combustibles ni con los productos de la combustión.

Una clasificación interesante de los hornos responde al tipo de combustible que emplea para producir el calor:

- Para combustibles sólidos, que queman carbón de leña, hulla, coque.
- Para combustibles líquidos, diesel, alquitrán, petróleo, bencinas, querosene.

- Para combustibles gaseosos (gas de gasógeno, gas de alumbrado, mezcla oxhídrica, mezcla oxiacetilénica).
- Eléctricos.

Otra forma moderna de producir calor aprovecha los efectos de la corriente eléctrica para así lograr temperaturas sumamente altas, entre 3.000 °C y 4.000 °C. Así, encontramos los:

- **Hornos de arco voltaico** (aprovechando la caída de tensión en un gas ionizado, generalmente el aire).
- **Hornos de resistencias** (efecto Joule, por la circulación directa o indirecta de la corriente por el material a fundir).
- **Hornos de inducción** (desarrollando corrientes inducidas en la masa o material a calentar).
- **Hornos de alta frecuencia** (provocando en el mismo la aparición de corrientes parásitas).

Los **hornos de cubilote** se emplean para fundir hierro y arrabio y obtener el hierro gris de calidad mecánica, que se conoce también como hierro dulce. La carga se realiza por un tragante superior (60% de hierro, 20% de arrabio, 15% de carbón de coque y un 5% de piedra caliza, o vidrio o mármol para preparar), mientras que el aire precalentando y el combustible inicial entran por la parte inferior. Es un horno de cuba, con tiro natural o atmosférico en donde la acción directa del combustible actúa sobre la carga, con inyección de aire o toberas (son los antiguos *hornos de manga*, así llamados por la manga de cuero de la que iban provistos para conducir el aire de los fuelles hasta las toberas: altos hornos, cubilotes, hornos para fundir piritas).

El **horno de reverbero**, es utilizado para realizar la fusión del concentrado de cobre y separar la escoria, así como para fundir metales de bajo punto de fusión como el aluminio, para la fundición de mineral y el refinado o la fusión de metales. Es un tipo de horno de planta rectangular, cubierto por una bóveda de ladrillo refractario y con

chimenea, que refleja (o reverbera) el calor producido en un sitio independiente del hogar, donde se hace la lumbre. El combustible de estos hornos eran fundamentalmente madera o ceniza de carbón. Los gases resultantes del proceso salían al exterior a través de una chimenea.

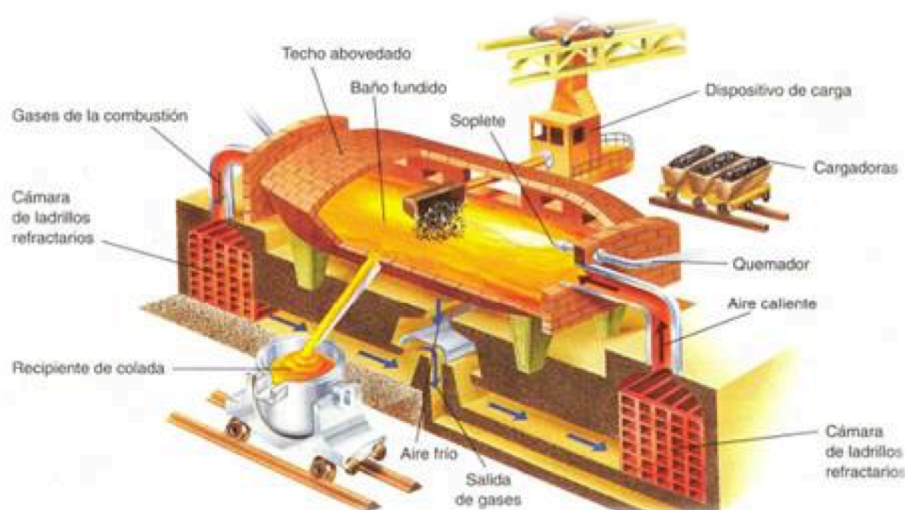


Figura 3: Modelo de horno de reverbero

Fuente: www.emison.com

Tales hornos se usan en la producción de cobre, mercurio, estaño y níquel, en la producción de ciertos cementos y en el reciclado del aluminio. Los hornos de reverbero se utilizan para la fundición tanto de metales férreos como de metales no férreos como cobre, latón, bronce y aluminio.

En 1850 *Henry Bessemer*, en Inglaterra, inventó el proceso que lleva su nombre para producir acero. Descubrió un modo de producir acero en grandes cantidades con un coste razonable.

En 1878 *Thomas* patentó el proceso básico complemento del anterior. Pero *Siemens* inventó el proceso de hogar abierto, que desplazó a los anteriores.

Tras numerosos intentos fallidos, dio con un nuevo diseño de horno, el **convertidor Thomas-Bessemer**, y a partir de entonces mejoró la construcción de estructuras en edificios y puentes, pasando el hierro a un segundo plano.

El proceso de Bessemer fue el primer proceso industrial barato para la fabricación en serie de acero, de un hierro fundido en lingotes. El proceso es nombrado por su inventor, Henry Bessemer, que sacó una patente del proceso en 1855.

El proceso fue independientemente descubierto en 1851 por William Kelly. El mismo proceso también había sido usado fuera de Europa durante cientos de años, pero no a una escala industrial.

El principio clave es la retirada de impurezas del hierro mediante la oxidación producida por el insuflado de aire en el hierro fundido. La oxidación causa la elevación de la temperatura de la masa de hierro y lo mantiene fundido.

El aparato ideado por el inglés Henry Bessemer se llama *convertidor* ya que convierte el arrabio ya procesado, es decir, la fundición, en acero o en hierro. Consiste en una gran caldera piriforme, forrada con grueso palastro de acero y revestida interiormente de un material refractario; la parte superior está abierta y la inferior es redonda y móvil en torno de un eje horizontal y taladrado por pequeños agujeros para la insuflación del aire. El aparato descansa sobre dos soportes, uno de los cuales posee un mecanismo hidráulico que hace girar el recipiente para que sea posible cargar la fundición sin que se tapen los agujeros del fondo y también para facilitar la colada del acero una vez realizada la conversión.

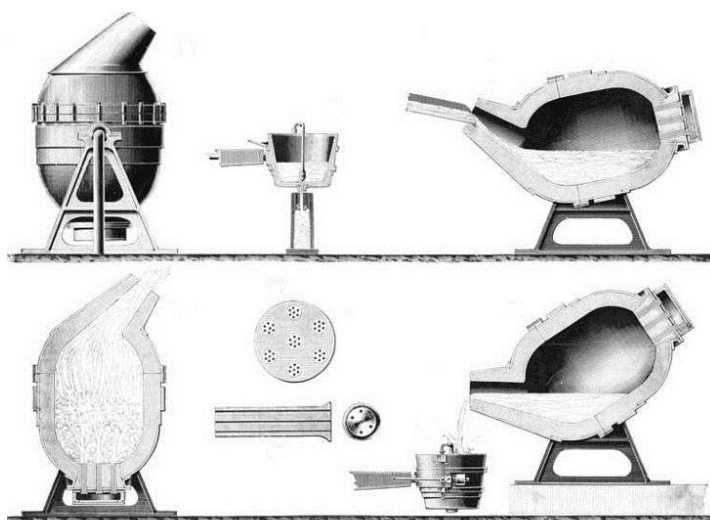


Figura 4: Esquema Convertidor Henry Bessemer

Fuente: en.wikipedia.org

La operación de conversión se desarrolla en tres periodos:

- **Escorificación:** el aparato cuando se trata de la primera conversión y se retiran las cenizas; luego se coloca en sentido horizontal y se carga de fundición hasta 1/5 de su capacidad. Se le inyecta aire a presión y enseguida se devuelve al convertidor a su posición normal. El oxígeno del aire, a través de la masa líquida, quema el silicio y el manganeso que se encuentra en la masa fundente y los transforma en los correspondientes óxidos. Esta primera fase se efectúa sin llamas dentro de unos 10 minutos, y recién al término de la operación aparecen chispas rojizas que salen de la boca del convertidor.
- **Descarburación:** continuando la acción del soplete, el oxígeno empieza la oxidación del carbono, lo que se efectúa con mucha violencia y con salidas de llamas muy largas, debido a las fuertes corrientes del aire y al óxido de carbono en combustión.
- **Re-carburación:** quemándose el carbono, el oxígeno llegaría a oxidar totalmente el hierro dejándolo inservible; a este punto se corta el aire, se

inclina el convertidor y se añade a la masa líquida una aleación de hierro, carbono y manganeso en una cantidad relacionada con la calidad del acero que se desea obtener. Se endereza luego el aparato y simultáneamente se le inyecta otra vez aire por pocos minutos y, por último, se vierte por su boca ante todo las escorias y después el acero o el hierro elaborado.

Poco tiempo después se utilizó el aluminio y el magnesio, permitiendo así desarrollar aleaciones mucho más ligeras y resistentes, muy utilizadas en aviación, transporte terrestre y herramientas portátiles. El titanio es el último de los metales abundantes y estables con los que se está trabajando.

Para la producción del acero, es decir, la transformación del hierro del alto horno (arrabio) por reducción del carbono, se emplean los hornos ***Siemens-Martin***.

La plaza del horno tiene una solera, en donde se colocan los crisoles en dos filas, que está formada por una gruesa capa de arena de cuarzo muy refractaria, colocada sobre una tapa de palastro inclinada hacia uno de los costados. El calor producido por la mezcla de gas y aire provoca una temperatura muy alta, entre 1.490 °C y 1.580 °C. En la parrilla del gasógeno se va echando el combustible desde el cilindro, el cual se quema inmediatamente, pasando los gases por los conductos desembocando en el hogar del horno.

En los hornos Martin-Siemens, los gases procedentes de la combustión, antes de salir por la chimenea, circulan por una cámara llena de tabiques refractarios a los que ceden su calor.

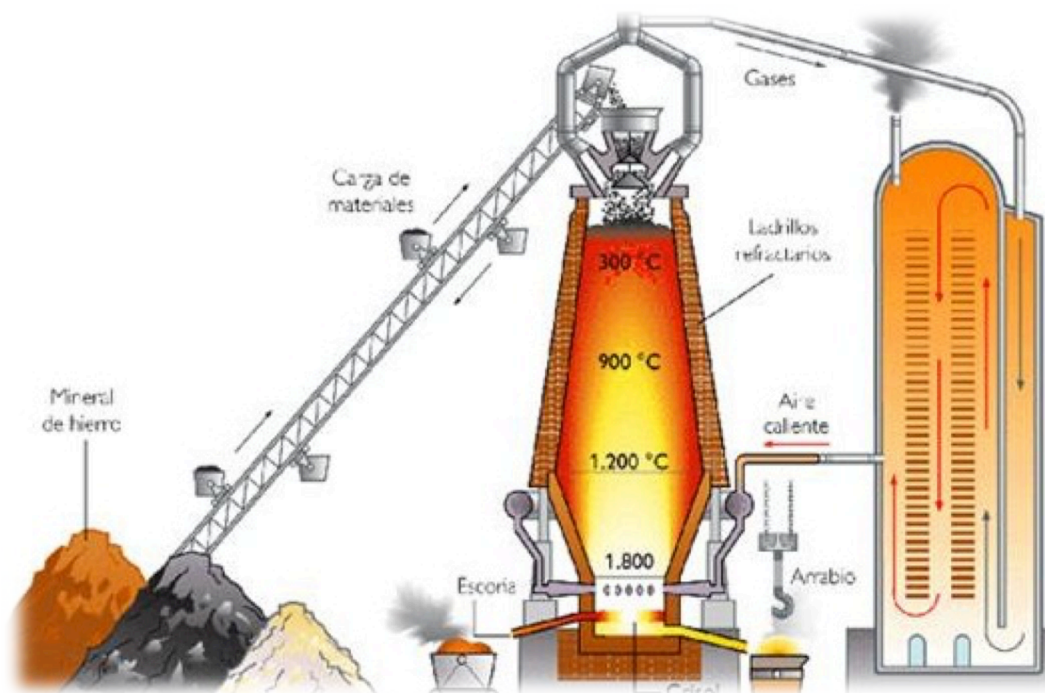


Figura 5: Horno Siemens-Martin

Fuente: www.taringa.net

Los crisoles son concavidades o vasijas existentes en la parte inferior de los hornos altos y en los de manga, con el poder de resistir elevadas temperaturas sin fundirse para recibir el metal fundido que se concentra en ella, separándose de las escorias que quedan sobrenadando. Los crisoles tienen distinta forma, pero generalmente son prismáticos y sus dimensiones son de 1,8 a 2,3 m de longitud, a nivel de las toberas; de 0,75 a 1 m de ancho y de 0,5 a 0,8 m de alto. La cara posterior se llama **rustina**, la anterior **dama**, los laterales **costeros** y el fondo **plaza**.

Los más empleados son de grafito. Se fabrican por moldeo y cocción a temperatura elevada y principalmente de una pasta compuesta de grafito, arcilla y alquitrán. También se fabrican crisoles tallados directamente en bloques de grafito artificial.

Cuando conviene concentrar el efecto calórico en una región determinada de los crisoles, se recurre a disminuir el espesor de sus paredes en la parte que convenga o bien a modificar la proporción de la mezcla de grafito y arcilla en las distintas zonas, haciendo por ejemplo, que la parte central sea más arcillosa a fin que pueda calentarse más que las porciones extremas.

Si se quiere evitar el peligro de una carburación, se emplean crisoles de magnesio u otras sustancias o bien se adoptan crisoles de grafito provistos de un revestimiento interior adecuado.

En la siguiente tabla se detallan los parámetros fundamentales de funcionamiento de los hornos de cuba, de reverbero y eléctricos (de arco) en función de su forma, fuente calórica, tipo de carga a tratar, atmósfera de trabajo y pérdidas de calor:

Tabla I: Parámetros fundamentales de funcionamiento de los hornos de fusión

Fuente: Tesis Doctoral "Evolución histórico-tecnológica de los hornos en la metalurgia del mercurio en las minas de Almadén. Implantación de los hornos Cermak-Spirek y Spirek". Autor: Dr. José Tejero Manzanares (2011).

	Hornos de cuba	Hornos de reverbero	Hornos eléctricos de arco
Fuente del horno	Desarrollo vertical	Desarrollo horizontal	A menudo, cilíndrico de pequeño tamaño
Fuente calórica	Coque	Combustibles sólidos o líquidos	Energía eléctrica
Tipo de carga a tratar	Troceada o aglomerada	Pulverulenta	Pulverulenta, troceada o aglomerada
Atmósfera de trabajo	Desde oxidante a muy reductora	Desde débilmente oxidante a débilmente reductora	Desde neutra a extremadamente reductora
Pérdidas de calor	Eventualmente, en forma de calor latente	En forma de calor sensible	No hay

7.2. Datos geográficos, geológicos e históricos

7.2.1. La Comarca de Almadén

En el extremo Suroeste de la provincia de Ciudad Real, enclavada ya en ámbitos de Sierra Morena, se encuentra una de las comarcas naturales más singulares de nuestra geografía. Constituida por los municipios de Agudo, Alamillo, Almadén, Almadenejos, Chillón, Guadalmez, Saceruela y Valdemanco del Esteras, tienen en Almadén su capital comarcal ya que es una capital administrativa y de servicios así como sede del partido judicial comarcal. El 23 de diciembre de 1996 se constituye la Asociación para el Desarrollo de la Comarca de Almadén *Monte-Sur*. Una asociación participada por

entidades públicas locales y privadas del entorno geográfico que, sin ánimo de lucro, pretende impulsar el desarrollo socio-económico de esta Comarca a partir de los recursos locales, compatibilizando dicho desarrollo con el respeto al medio ambiente, gestionando el Programa Operativo de Desarrollo y Diversificación Económica de Zonas Rurales (PRODER).



Figura 6: Plano Comarca de Almadén

Fuente: www.comarcamontesur.com

La configuración geológica y la erosión han producido una morfología encajada que rompe con la monotonía del paisaje de La Mancha.

Por la influencia del relieve y los condicionantes climáticos, la vegetación que se ha desarrollado en la región posee características del bosque mediterráneo como ecosistema principal. Entre dehesas y encinares nos vemos rodeados de un paisaje que posee unas características propias producto de la historia natural. El relieve posee un aspecto montuoso a pesar de no alcanzar altitudes excesivamente elevadas.

La Comarca de Almadén, con una enorme riqueza ecológica y paisajística, en la que predominan los encinares adehesados, los alcornoques y los quejigos, tradicionalmente, era punto de concentración invernal de los pastores procedentes del Norte peninsular. En él se llegaban a reunir hasta 300.000 cabezas de ganado. La actividad agrícola ha creado terrenos adehesados y muy aptos para la ganadería, lo que unido a la climatología, ha hecho que esta región sea desde la antigüedad zona de invernada de los rebaños trashumantes castellanos.

Este mosaico de colores se ve inundado por una gran variedad de fauna dentro de la que podemos destacar el buitre negro, el buitre leonado, nutrias, jabalíes, venados, cigüeña negra y un largo etcétera. Un paraíso natural para disfrutar en todas las épocas del año. Su rica flora y fauna, su historia y su gastronomía hacen de esta tierra un lugar privilegiado para el visitante que puede disfrutar de un número interesante de actividades para todo tipo de gustos.

Actividades tradicionales, como la caza mayor, encuentran en la comarca su máxima expresión estando considerada como una de las mejores zonas del país. La pesca en agua dulce permiten interesantes capturas de grandes carpas, barbos, peces gato o black-bass y es otro de los grandes atractivos de la zona embalses como el de la Serena, Castilseras, etc.

Uno de los aspectos que puede resultar más sorprendente de la Comarca de Almadén es su situación medioambiental. A priori, podría pensarse que la zona que ha sido principal productora mundial de Mercurio, debería estar profundamente contaminada. Sin embargo, el impacto ambiental de la minería del Mercurio puede considerarse como irrelevante, no existiendo en la zona suelos degradados o improductivos como consecuencia de su contenido en Mercurio.

Sin llegar a ser una reserva natural, en la Comarca de Almadén están bien preservadas la fauna y la flora autóctonas (extremadamente bien conservadas, si consideramos el promedio europeo), y el turismo cinegético dedicado a la caza de jabalí y ciervo constituye una de las principales actividades económicas en la zona. La deforestación causada por la necesidad de usar la madera como combustible para la

metalurgia del Mercurio es el único efecto medioambiental detectable (que está restringido a algunas zonas concretas), y éste tampoco puede ser directamente atribuible a los efectos contaminantes del Mercurio, ya que cualquier otro tipo de minería y metalurgia hubiese tenido consecuencias idénticas.

Es difícil resumir más de 5.000 años de historia de una Comarca llena de curiosidades y matices. La historia viene marcada por los pobladores de la misma. Los primeros pobladores destacados aparecen el entorno del 3.500 al 2.500 a.C., en plena Edad del Bronce. Se han encontrado vestigios de las valiosas colecciones de Pinturas Rupestres de arte esquemático en los abrigos de la Sierras que la rodean. Estas pinturas se sitúan siempre sobre paredones verticales, muy visibles y orientadas al Sur principalmente, siendo el color predominante el rojo y de hecho, se cree que el Cinabrio era ya empleado en ceremonias de carácter religioso. Por lo que a la temática se refiere, aparecen distintos motivos: figuras humanas, animales (caballos, ciervos...) y distinta simbología círculos, puntos, ídolos, etc.

Nuevos pueblos fueron asentándose en estas tierras, buscando sus minerales y sus tierras de pastoreo. Los siguientes grandes pobladores de estas tierras serán los romanos, vinculados a la llamada por los ellos región *Sisaponense*, ya citada por Plinio. Aún podemos encontrar numerosos vestigios de villas romanas y calzadas en la zona.

Tras el declive romano, se aprecia una época en la que tanto la minería como la agricultura y la ganadería de la zona pierden importancia. Aunque no faltan muestras de pobladores visigodos en la zona, estas tierras van reapareciendo con fuerza durante el dominio árabe, por ello, podemos encontrar numerosas fortalezas y atalayas así como multitud de palabras de este origen.

Tras la Reconquista, las Órdenes Militares pasan a ser las propietarias de las tierras, teniendo por esta época y tras el descubrimiento de América una gran importancia la minería del azogue que influencia a toda la Comarca, al convertirse los pueblos entorno a las minas como los grandes proveedores de materiales y mano de obra para las mismas, manteniendo cada uno de ellos su propia identidad e historia que los diferencia y que enriquecen el patrimonio cultural de la zona.

7.2.2. El municipio de Almadén

Almadén, población situada a 4°49' O y 38°46' N, pertenece a la provincia de Ciudad Real dentro de la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha (España). Está a 589 m sobre el nivel del mar, tiene un término municipal de 239,64 km² con 5.893 habitantes (*almadenenses*) (INE 2013), y una densidad de población de 26,24 hab/km².

Se encuentra rodeado por las sierras de Osa, los Calanizos, los Duranes, la Cerrata, la Alcudia y la de las Hoyuelas. Al Norte se localiza el cerro del Ciervo y la Dehesa de Almadén y destacan las elevaciones de Lobera y Confieso, teniendo relieve accidentado con orientación Oeste-Noroeste a Este-Sureste. En el centro del término se haya Puerto Grande.

Discurren por el término de Este a Oeste el río Valdeazogues que con su afluente el Alcudia, son tributarios del Guadalmez, y los arroyos de los Álamos y Gargantiel. Dentro del municipio está el embalse de Castilseras (sobre el río Valdeazogues) cuyas obras concluyeron en 1983 con un volumen de embalse de 5 Hm³ y una superficie de 97 ha; es propiedad de Minas de Almadén y Arrayanes, S.A. y sus aguas se destinan a riego.

El clima es mediterráneo templado con inviernos suaves. Precipitaciones medias anuales de 400 a 600 mm. Temperaturas medias de 6 °C a 8 °C y extremas de -2 °C en invierno y de 20 °C a 30 °C y extremas de 40 °C en verano. Los vientos predominan del Suroeste. La vegetación es de monte alto, principalmente encinas y alcornoques, y de pastos permanentes.

La población se asienta principalmente sobre un montículo alargado con dirección este-oeste, orientándose el eje y parte más alta del mismo desde los jardines de Waldo Ferrer al Este hasta la mina al Oeste. Desde este eje hay laderas hacia el Norte y hacia el Sur. Partiendo de la Plaza de Jesús hacía el Noreste discurre la calle Ramón y Cajal que lleva hacía el barrio del Cristo, donde se sitúan las viviendas que en su día construyó la empresa minera para su personal y el cuartel de la Guardia Civil. La parte más antigua de la ciudad es la más cercana a la mina en la zona Oeste de la misma.

Las viviendas son por lo general de una y dos alturas, siendo pocas las casas con más de dos alturas. El tejado es casi siempre de teja roja y las paredes encaladas o pintadas.

Almadén ha estado desde siempre íntimamente ligada a la empresa Minas de Almadén y Arrayanes, S.A., quien explotó las minas de Mercurio y que durante cientos de años ha dado trabajo a casi todo los habitantes de la ciudad de manera directa o indirecta, haciendo de Almadén una ciudad próspera y siendo el motor de toda la Comarca.

En las últimas décadas se ha pasado de alcanzar el máximo protagonismo como ciudad y como mina a un periodo de escasa producción debido a la baja rentabilidad y demanda del Mercurio. Todo ello ha ocasionado una gran pérdida humana, social y económica que ha obligado al gobierno a declarar la Comarca como zona deprimida. Por ello, la actividad de Almadén empieza a desarrollarse en otros sectores aprovechando los recursos comarcales de la zona: caza, pesca, madera, turismo, agricultura, etc.

Posee unas importantes minas de Cinabrio, mineral del que se extrae Mercurio. Las reservas de este mineral son las más grandes del mundo y eran ya explotadas en tiempos de Estrabón, Vitrubio y Plinio, que aluden al Cinabrio de Almadén al mencionar la cercana ciudad romana de Sisapo, ubicada en el valle de Alcudia.

El topónimo **Almadén** es de origen árabe y parece ser que también es árabe el origen de su urbanismo, que está en relación con la agrupación de albergues construidos alrededor de las minas. También abundan términos de origen árabe empleados en las minas como *alarife* por albañil, *aludel* por caño, *jabeca* o *xabeca* por horno, *azogue* por Mercurio y el propio nombre de la ciudad *Almadén*, que significa “la mina”.

Almadén tiene un proceso demográfico regresivo. En la siguiente tabla podemos observar la variación en el número de habitantes en diferentes años:

Tabla II: Número de habitantes con el paso de los años

Fuente: Elaboración propia.

AÑO	Nº HABITANTES
1769	3.048
1826	6.375
1857	7.421
1950	12.357
1974	10.276
1981	9.722
1991	7.723

El último dato del año 2016 muestra 5.657 habitantes censados.

El municipio almadenense es una región ganadera, principalmente de ovinos, la que convive en armonía con encinas y alcornoques así como con la fauna dominantes, el jabalí y el venado.

Posiblemente, la forma más sencilla de llegar a estas tierras sea por carretera, bien desde Ciudad Real, Córdoba o la cercana Extremadura, teniendo la posibilidad de acceder a la comarca por tren y más concretamente a la Estación de Almadenejos-Almadén, siendo cercanas las de Guadalmez y Alamillo, esta última casi en desuso.

7.2.3. Ubicación de los hornos de Minas de Almadén

Los hornos de Minas de Almadén, a excepción de los de *xabecas* (ya que de los cuales se han encontrado restos arqueológicos por diferentes lugares del término municipal de Almadén y de la propia Comarca), se encuentran dentro del **Cerco de Buitrones**, que a su vez se ubica dentro de lo que se conoce como **Cerco de San Teodoro**, que engloba todas las instalaciones mineras y metalúrgicas.

Las explotaciones mineras se encuentran al Oeste de la localidad, justo a continuación del caso antiguo, quedando a la derecha de la Carretera N-502 que lleva a Córdoba.



Figura 7: Plano de la ciudad de Almadén.

Fuente: www.lacerca.com

En el interior de la muralla del **Cerco de Buitrones**, se ha venido realizando la actividad metalúrgica durante siglos, donde en un primer término, se puede observar el estado que las escombreras. A su derecha queda la carretera N-502 que nos conduce hacia Córdoba.



Figura 8: Panorámica de las explotaciones mineras.

Fuente: Google Earth

7.2.4. La geología del Distrito Minero de Almadén

El distrito minero de Almadén, desde el punto de vista geográfico, se localiza en el borde septentrional de la región de Sierra Morena, caracterizada por relieves de cierta altura que discurren según las directrices estructurales hercínicas, y que delimitan valles de anchura variable, que condicionan el encajamiento de la red fluvial. El conjunto se inserta en la Cuenca hidrográfica del Guadiana, siendo el principal río que atraviesa la zona el Valdeazogues (valle del Mercurio), afluente del Zújar que lo es a su vez del Guadiana.

El río Valdeazogues y sus afluentes drenan el área del distrito, recogiendo incluso las aguas residuales ya depuradas de las localidades mineras y metalúrgicas de Almadén y Almadenejos. En concreto, el Arroyo Azogado recoge las aguas que drenan la zona de las Minas de Almadén y el Complejo metalúrgico, mientras que el Arroyo de la Pila recoge las aguas residuales urbanas ya depuradas de la localidad de Almadén.

La altitud de la zona se sitúa entre los 400 m de cota mínima, correspondiente al valle del río Valdeazogues, hasta los 750 m de las máximas cotas del área. Las pendientes son, en general, importantes debido a que las rocas cuarcíticas que condicionan estos altos relieves presentan una muy alta competencia diferencial frente a las rocas pizarrosas en que se encajan los valles.

La concesión que estaba formada inicialmente por un círculo de 25 km de radio y centro el Pozo de San Teodoro, pasó posteriormente a ser un cuadrado de 50 km de lado y centro el mismo pozo, con lados paralelos al Norte. Dentro de estos 2.500 km² de la concesión, existen numerosos indicios de Cinabrio y varias minas explotadas en épocas anteriores, algunas de ellas muy antiguas.

En su última etapa, las Minas de Almadén tuvieron en explotación tres pozos: **San Teodoro, San Joaquín y San Miguel**. El primero de ellos es el principal y por él se realizaba normalmente la extracción. Tiene un diámetro de 4,5 m y revestimiento de hormigón. La máquina de extracción es con polea KOPEPE bi-cable. Posee dos jaulas con dos pisos cada una, con capacidad de dos vagonetas por piso de 330 l. La capacidad de

extracción, por ejemplo, desde la planta 19, es de 50 t/h. Finalmente, se empleó solo para personal. Hoy en día es utilizado de ascenso para las visitas, junto a lo que actualmente es el Museo de la Minería dentro del Parque Minero.



*Figura 9: Vista exterior del Pozo de San Teodoro.
Fuente: www.turismocastillalamancha.com*

El Pozo de San Joaquín situado a 514 m al Oeste del anterior, se utilizó para la bajada de relleno. Tiene 4,5 m de diámetro y revestido de hormigón. La máquina de extracción es de tambores cilíndricos con dos jaulas con capacidad de dos vagonetas cada una, con lo que la capacidad de extracción desde la planta 19 sería de 25 t/h.



*Figura 10 : Vista exterior del Pozo de San Joaquín.
Fuente: geominero.blogspot.com*

Por último, el Pozo de San Miguel, situado a 117 m al Este del Pozo de San Teodoro, es de sección circular de 3 m de diámetro, revestido de hormigón y se utiliza como pozo de retorno de ventilación. El aire entra por los dos pozos primeros y sale mediante ventilación forzada por este último.

Un cuarto pozo, el de San Aquilino, situado a 95 m al Oeste de San Teodoro, se utilizó finalmente como acceso a viejas minas para la realización de trabajos de investigación.



Figura 11: Vista exterior del Pozo de San Aquilino.

Fuente: www.turismocastillalamancha.com

La geología del Distrito minero de Almadén ha suscitado desde muy antiguo el interés de los geólogos e ingenieros que han trabajado en él, puesto que resultaba evidente un control geológico de la presencia de estas mineralizaciones por parte de la denominada *Cuarcita del Criadero*¹.

El Distrito forma parte del sector meridional de la Zona Centroibérica del Macizo Hespérico. Como tal, se caracteriza por la presencia de una sucesión paleozoica fundamentalmente detrítica, afectada por las deformaciones tectónicas propias de la

¹ Denominación que alude precisamente a la que encaja con el yacimiento de Almadén.

orogenia Hercínica, de forma que el Distrito coincide a grandes rasgos con una unidad geológica y tectónica, con determinadas características diferenciales, que es el Sinclinal de Almadén.

La estratigrafía de los materiales representados en el Distrito es, por otra parte, bastante más compleja que la habitual en otros sinclinales de la Zona Centroibérica: se caracterizan por una sucesión basal pre-ordovícica detrítica, el denominado “Complejo Esquisto-Grauváquico”, de edad Precámbrico superior, que en determinadas secciones puede ser subdividido en dos conjuntos separados por una discordancia angular. La edad del más alto de estos dos subconjuntos podría alcanzar el Cámbrico inferior.

Por encima de estos materiales y, en discordancia angular y erosiva, se localiza la sucesión paleozoica, también de carácter eminentemente detrítico, que se puede subdividir en una serie de Formaciones de edad comprendida entre el Arenigiense (Ordovícico Inferior) y el Fametiense (Devónico Superior), siendo la sucesión prácticamente continua e interrumpida, con la excepción del Devónico Medio, que no está representado.

Además de los materiales detríticos mayoritarios en la sucesión, en la misma se encuentran representadas rocas magmáticas, fundamentalmente rocas máficas de carácter volcánico y subvolcánico (basaltos y diabasas), junto con otras minoritarias de carácter más diferenciado (andesitas, traquitas y riolitas) (Higueras et al., 2000). Una variedad importante desde el punto de vista minero son las rocas piroclásticas de tamaño lapilli y composición basáltica que reciben el nombre local de *roca frailesca* (por su coloración parda, debida a alteración de carbonato ankerítico). Estas rocas constituyen cuerpos de dimensiones decamétricas con morfología de diatrema. Dichas unidades aparecen estrechamente ligadas a los yacimientos de Mercurio, si bien no son exclusivas de éstos, apareciendo ocasionalmente en otros puntos del área del sinclinal.

La tectónica que afecta al conjunto estratigráfico corresponde a la orogenia hercínica y produce un plegamiento general de directriz ENE-OSO con ligera vergencia al Norte, tras el que se produce una deformación frágil que origina varios juegos de fallas y zonas de cizalla, entre las que destacan las de alto componente de desgarre y dirección

Noroeste-Suroeste. Las mineralizaciones de Mercurio pertenecen a dos grandes tipos genéticos: estrato-ligadas en Cuarcita de Criadero y netamente discordantes en diversas unidades.

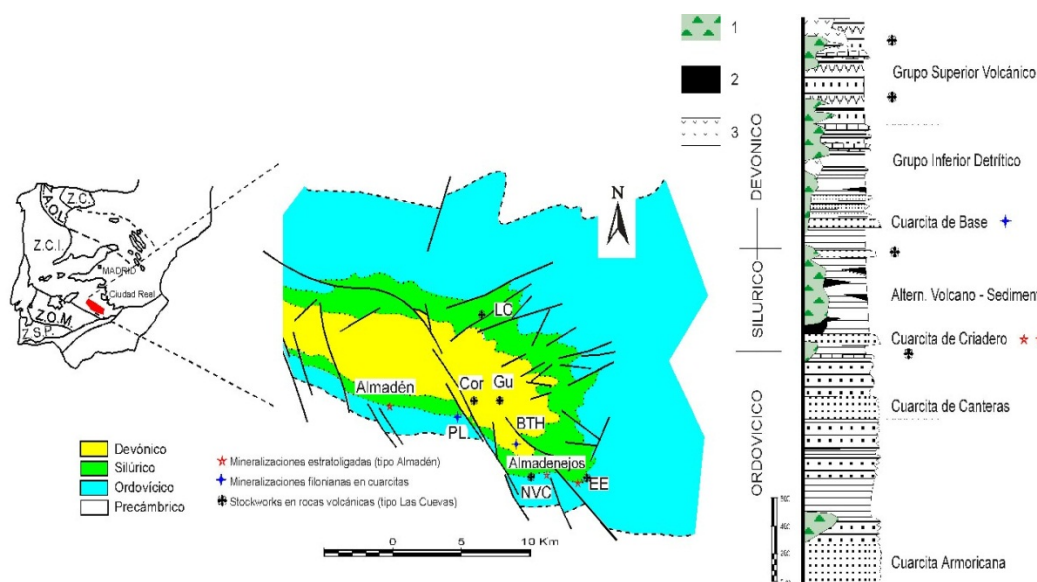


Figura 12 : Tipos de yacimiento de Mercurio en el distrito de Almadén.

Fuente: www.uclm.es

Las primeras son las más importantes, y reciben la denominación de **tipo Almadén**, pues el yacimiento de Almadén es el más representativo de este grupo, al que pertenecen también El Entredicho y La Vieja Concepción (Almadenejos). La mena de Mercurio (Cinabrio), aparece impregnada por una formación cuarcítica, la ya aludida *Cuarcita del Criadero*, con contenidos en Cinabrio crecientes en proximidad de la intersección de la misma con un cráter tipo diatrema de la “Roca Frailesca”. La mineralización impregna horizontes determinados de esta Formación, en concreto los denominados Banco de San Pedro en la parte inferior de la Formación, y Bancos de San Francisco y San Nicolás en la parte alta de la secuencia. La cuarcita aparece plegada y fracturada en una estructura compleja dividida a grandes rasgos en dos subunidades o ramas, separadas por una alineación de fractura (Falla Meridional): las denominadas Rama Norte y Rama Sur.

Las mineralizaciones discordantes son muy numerosas y, por lo general, de importancia menor; consisten en rellenos de fracturas y filones o reemplazamientos parciales de las rocas encajantes en cada caso. Solo dos de las de este tipo llegan a tener interés minero: los yacimientos de Las Cuevas (que dan nombre al grupo: “Tipo Las Cuevas”) y La Nueva Concepción. En este caso se trata de reemplazamientos casi generalizados, acompañados de una densa red de fracturas rellenas por la mineralización de Cinabrio que parecen responder a la intersección de zonas de fractura tipo cizalla con rocas básicas, tipo Frailesca o basaltos en general, de forma que la fracturación favorece el acceso de los fluidos mineralizantes y las rocas se comportan como reactivas frente a estos fluidos debido a que están alteradas con altos contenidos en carbonatos.

De esta forma, las características finales de cada uno de estos dos tipos de yacimientos son las siguientes:

- Yacimientos tipo Almadén: se trata de impregnaciones de Cinabrio en rocas cuarcíticas con contenidos en Mercurio del orden del 5 al 10%, si bien puntualmente pueden llegar a ser más altos. Junto con el Cinabrio encontramos algo de pirita, siempre en proporción baja. En el yacimiento o su entorno inmediato encontramos siempre rocas magmáticas básicas fuertemente alteradas, por lo general con muy altos contenidos en carbonatos. Calcita, dolomita, ankerita, magnesita y siderita pueden aparecer en proporciones variables en este tipo de rocas junto con otros minerales como clorita, mica crómica (fuchsita), talco, o sílice microcristalina (ópalo). El tamaño de estos yacimientos puede ser variable: el mayor, la Mina de Almadén. Es sin duda alguna el más grande del mundo, con unas reservas iniciales del elemento próximas a 8 millones de frascos (unas 400.000 t), mientras que el segundo en importancia, El Entredicho, presenta unas reservas explotadas del orden de los 350.000 frascos.



Figura 13: Capa de cuarcita mineralizada con Cinabrio rojo en la Mina del Entredicho.
Fuente: www.gabrielbernat.esa

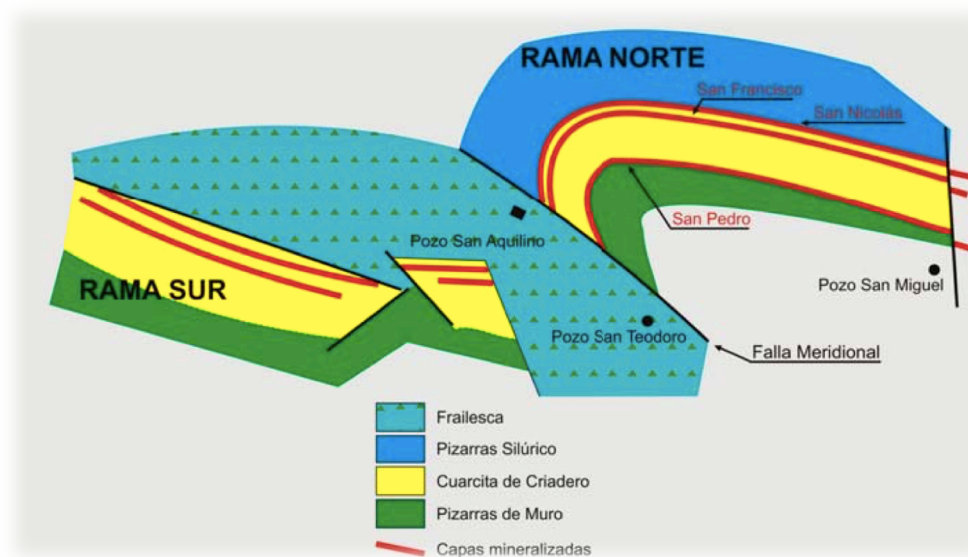


Figura 14 : Capa Esquema geológico idealizado de la Mina de Almadén entre las platas 7ª a 9ª.
Fuente: www.gabrielbernat.es

- **Yacimientos tipo Las Cuevas:** se trata de mineralizaciones controladas por fracturas y por el reemplazamiento de alta reactividad. De esta forma, el Cinabrio se encuentra controlado por un factor tectónico que favorece la entrada de los fluidos mineralizantes y un factor litológico, el de la reactividad de la roca, que debe contener abundantes carbonatos. Así, la mineralización de Cinabrio se encuentra en forma de cuerpos de reemplazamiento de formas variadas en el detalle, con predominio de rellenos de redes de fractura más o menos complejas cuando encaja en rocas detríticas o cuarcíticas, poco reactivas, y sustituciones generalizadas de las litologías volcánicas y piroclásticas. El Cinabrio suele ir acompañado de altas cantidades de pirita. El tamaño de los yacimientos varía desde el nivel de simples mineralizaciones inexplotables, hasta el de los yacimientos de Las Cuevas o La Nueva Concepción, con reservas explotadas del orden de los 250.000 frascos.

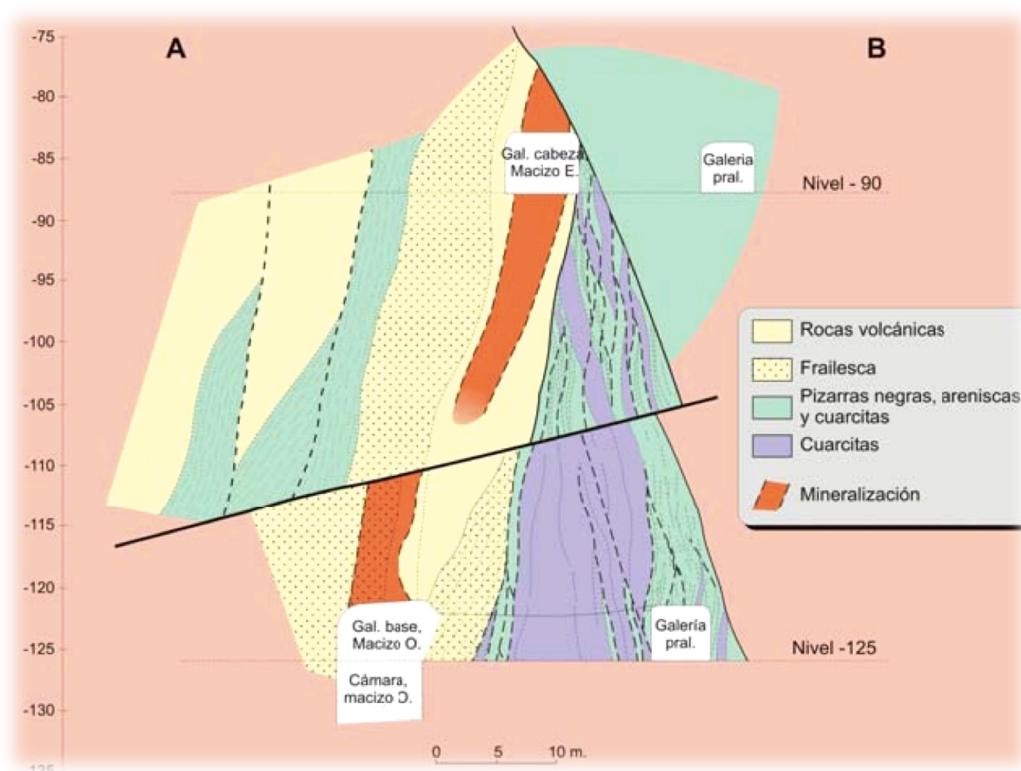


Figura 15 : Corte geológico de la mina Las Cuevas entre las plantas 1ª y 2ª (según Palero, 1997)

Fuente: www.gabrielbernat.es



Figura 16: Mineralización de la mina de Las Cuevas.

Fuente: www.gabrielbernat.es

La Cuarcita del Criadero del yacimiento de Almadén está constituida por dos niveles cuarcíticos, superior e inferior, separados por las denominadas pizarras intermedias. La Cuarcita superior agrupa de techo a muro: la Capa de San Nicolás, la Capa de San Francisco y las Cuarcitas intermedias, mientras la Cuarcita inferior contiene la Capa de San Pedro.

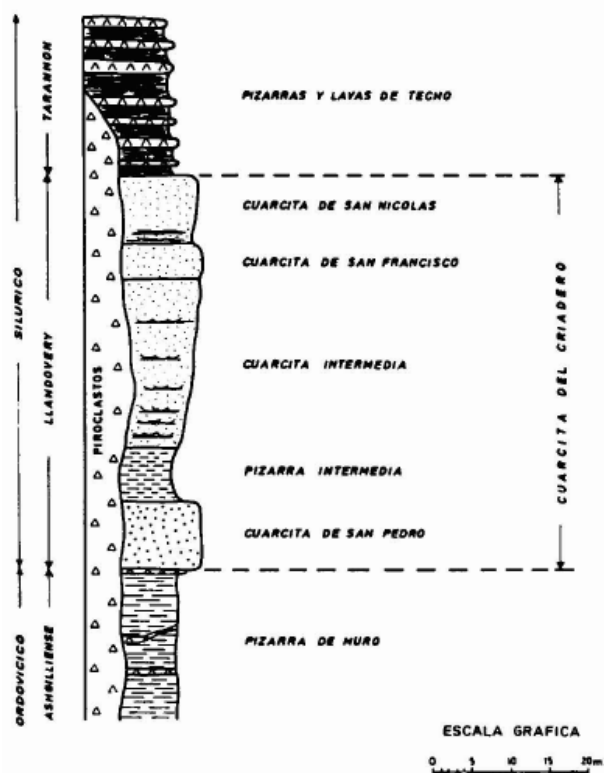


Figura 17: Columna estratigráfica del yacimiento de Almadén (Hernández, 1984)

Fuente: J. B. ALVAREZ, J. MONSEUR, A. GUTIERREZ, J. GUIJARRO

Mediante el análisis por Espectroscopía de Emisión de Plasma por Acoplamiento Inductivo (ICP-OES)² realizado por J.B. Álvarez Martín, J. Monseur Lespagnard, A. Gutiérrez Maroto y J. Guijarro Galiano en 1987, se estudió la distribución de ciertos elementos traza, trece en piritas, doce en Cinabrios y diecisiete en interrelaciones pizarrosas de la Capa de San Nicolás, para establecer el carácter geoquímico de la pirita, del Cinabrio y del material pizarroso intercalado así como la génesis de los dos sulfuros.

Las muestras objeto de nuestro estudio han sido tomadas en la Cuarcita del criadero, y más concretamente en el nivel cuarcítico denominado San Nicolás (Sondeo RS-4 y Zonas I, II Y III). Al objeto de analizar la influencia del volcanismo sobre la distribución de los elementos traza, en la siguiente figura se puede observar la posición relativa de las distintas muestras frente al aparato volcánico y las paleo-corrientes.

² Mediante ICP-OES se pueden detectar y determinar cuantitativamente la mayoría de los elementos del Sistema Periódico, pudiéndose analizar una amplia variedad de tipos de muestra.

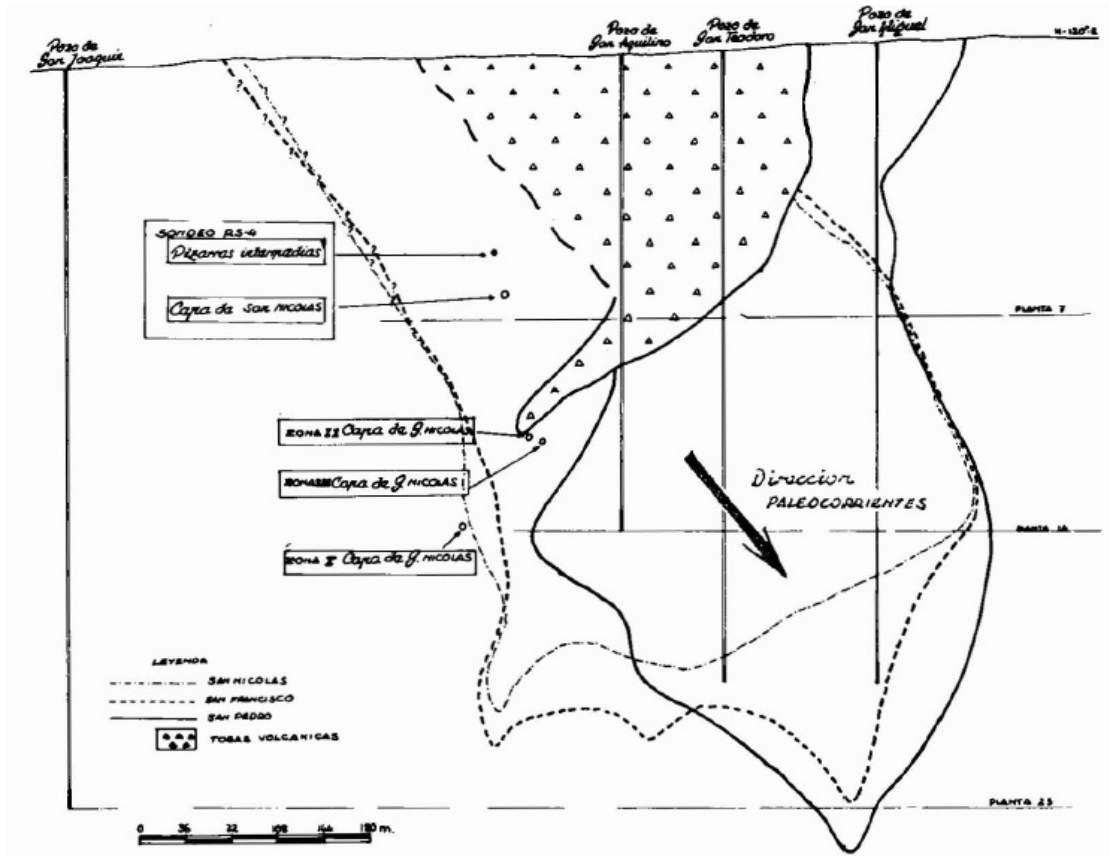


Figura 18: Situación de las zonas de estudio frente al volcanismo, sobre el plano de proyección San Teodoro-San Miguel (Hernández, 1984)
Fuente: J. B. ALVAREZ, J. MONSEUR, A. GUTIERREZ, J. GUIJARRO

En la siguiente figura se muestra la huella que ha dejado la explotación de las Minas a los pies de la ciudad de Almadén.

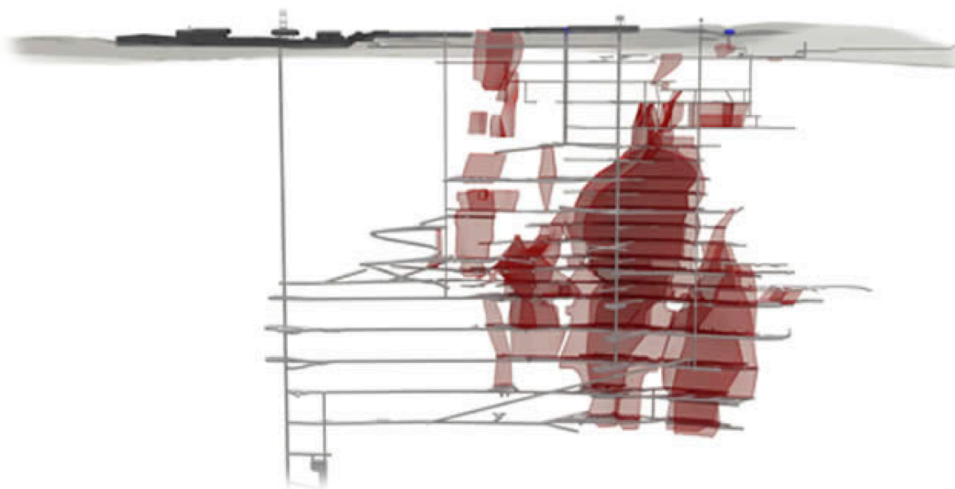


Figura 19: Explotación de Minas de Almadén
Fuente: www.parqueminerodealmaden.es

7.2.5. Historia de Almadén

La historia de Almadén da comienzo cuando la naturaleza creó el mayor yacimiento de Mercurio conocido hasta la fecha. Se estima que Almadén ha producido, aproximadamente, la tercera parte del Mercurio consumido por la humanidad. El yacimiento de Almadén se formó hace unos 430 millones de años cuando las cuarcitas que hoy forman su subsuelo se estaban depositando bajo el mar en una plataforma continental de poca profundidad. Al mismo tiempo surgió un volcanismo profundo de tipo básico que arrastró el Mercurio desde las entrañas de la Tierra. Este acontecimiento marcará la historia de un pueblo hasta la actualidad.

Los primeros pobladores destacados aparecen entorno del 3500 al 2500 a.C., en plena Edad del Bronce. Ya se ha visto que se han encontrado vestigios de las valiosas colecciones de Pinturas Rupestres de arte esquemático en los abrigos de la Sierras que la rodean. Estas pinturas se sitúan siempre sobre paredones verticales, muy visibles y orientadas al Sur. Principalmente, el color predominante es el rojo y, de hecho, se cree que el Cinabrio era ya empleado en ceremonias de carácter religioso. Por lo que a la temática se refiere, aparecen distintos motivos: figuras humanas, animales y distinta simbología círculos, puntos, ídolos, etc.

Nuevos pueblos fueron asentándose en estas tierras buscando sus minerales y sus tierras de pastoreo.

Los siguientes grandes pobladores de estas tierras serán los romanos: aún podemos encontrar numerosos vestigios de villas romanas dentro del término de Almadén. Sin embargo, la explotación intensiva de las minas no debió comenzar hasta el siglo II a.C. cuando se consolidó la implantación del dominio romano en la región.

La producción de Cinabrio se exportaba a Roma íntegramente y "en bruto" en odres³ precintados (hasta 10.000 libras anualmente), y allí se elaboraba el bermellón en las factorías situadas en el Foro Romano, entre el templo de Flora y Quirino.

³ El odre (del latín *uter*) es un recipiente hecho de cuero, generalmente de cabra, que, cosido y empegado por todas partes menos por la correspondiente al cuello del animal, sirve para contener líquidos y otras sustancias.

La rentabilidad de las minas debió ser enorme ya que el bermellón era un producto de lujo que llegó a alcanzar en Roma el precio máximo de 70 sextercios la libra. Su principal aplicación era como pintura o tinte, y con él untaban en las fiestas el rostro de la estatua de Júpiter y el cuerpo de los vencedores circenses. También se utilizaba en ungüentos y productos de tocador para las damas romanas y en la escritura de libros.

Tras el declive romano, se aprecia una época en la que tanto la minería como la agricultura y la ganadería de la zona pierden importancia. Aunque no faltan muestras de pobladores visigodos en la zona, estas tierras van reapareciendo con fuerza durante el dominio árabe. Podemos encontrar numerosas fortalezas y atalayas así como multitud de palabras de este origen, incluido el nombre de *hins al madin* que derivará en el actual Almadén.

La población permaneció bajo poder musulmán hasta 1151, año en que Alfonso VII conquistó la comarca. En 1168, Alfonso VIII hizo cesión del territorio al conde D. Nuño de Lara y al maestre de Calatrava, pasando a ser el pueblo patrimonio de la Orden de Calatrava junto con la Dehesa de Castilseras. En mayo de 1218, Fernando III confirmó la donación que fue renovada por Alfonso X el Sabio en abril de 1251, y por Sancho IV aumentándola en 1285 y 1289. La Orden explotó las minas cediéndolas en arriendo a particulares.

En 1417, la ciudad de Almadén recibió el título de Villa. Al incorporarse los Maestrazgos a la Corona en 1512, el Tesoro comienza a incautarse de las rentas de Almadén. Para explotarlas se usaba mano de obra esclava y presidiaria. En 1523 finaliza el arriendo de los Maestrazgos y, por ende, el de los pozos de Almadén, quedando el 4 de mayo de dicho año incorporados a la Corona de Castilla perpetuamente.

La conquista cristiana de estos territorios hará que las minas pasen por distintos propietarios y arriendos, siendo el más importante el que comienza en 1521.

La mina es arrendada a los banqueros Függer⁴ como parte del contrato que hicieron sobre los Maestrazgos de las Órdenes de Santiago, Calatrava y Alcántara, como

⁴ Los integrantes de la Familia Függer o Fúcares fueron un clan familiar de empresarios y financieros alemanes que llegaron a constituir uno de los mayores grupos empresariales de los siglos XV y XVI, siendo precursores del capitalismo moderno, junto con los Médicis y los Welser.

aval de sus adelantos monetarios para financiar la elección imperial y las guerras de Carlos V.

El descubrimiento de América y sus grandes minas de plata darán el gran impulso para el consumo de Mercurio, dado por la necesidad de amalgamar en frío la plata extraída según el **método de patio** desarrollado por el sevillano Bartolomé Medina. Esta necesidad de Mercurio trajo consigo un obligado aumento de la producción en la segunda mitad de este siglo y la consiguiente necesidad de mano de obra; es entonces cuando se decidió incorporar galeotes al trabajo de las minas.

A partir de esta época, las aplicaciones del Mercurio empiezan a multiplicarse. Hasta mediados del siglo XVII la explotación de las minas fue realizada por particulares por un derecho concedido por la Corona de Castilla, pero a partir de 1645 la mina vuelve a manos del Estado. A partir de esa fecha, se inicia un periodo de lentas reformas, nombramientos de superintendentes y la explotación de nuevos filones.

Por el Rey Carlos III mediante la Real Orden de 14 de julio de 1777, se creó la Academia de Minería y Geografía Subterránea de Almadén, siendo su primer director el alemán Enrique Cristóbal Störr. La Escuela de Minería de Almadén fue la primera que se crea en España y la cuarta del mundo, después de las de Freiberg (Sajonia) en 1767, Schemnitz (Hungría) en 1770 y el Instituto Especial de Minas de San Petersburgo (Rusia) en 1772.

En 1795, se construye el edificio de la Academia donde se han venido desarrollando las enseñanzas de Minas hasta 1973, así como un Museo de Minas. En las aulas de la Academia enseñaron y estudiaron diversos personajes de gran talla, entre ellos, Andrés Manuel del Río descubridor del vanadio.

En 1792, Carlos IV concedió a la villa más privilegios. En suma, durante el siglo XVIII la ciudad se expandió y tuvo lugar una gran labor arquitectónica: se construyó el Hospital de Mineros, la Plaza de Toros, la Escuela de Capataces de Minas y la Real Cárcel de Forzados, hoy desaparecida y construida en 1754 por el Ingeniero Silvestre Abarca.

En la Guerra de la Independencia, Almadén cayó en poder de los franceses, mandados por el mariscal Víctor, el 15 de enero de 1810. Permanecieron las tropas francesas en el lugar hasta 1812.

Otro importante contrato que permitió el saneamiento de las arcas españolas fue el firmado a partir de 1835 con la Banca Rothschild, por el cual esta compañía controlaría la comercialización del Mercurio de Almadén hasta 1921, en que de nuevo las minas pasaron a ser explotadas por la Hacienda Española. El Estado las ha explotado desde entonces hasta su cierre definitivo en 2003, tras más de 2.500 años de explotación.

En 1943, la Diputación Provincial elige mayoritariamente a Justo Sánchez Aparicio, Alcalde del pueblo minero, para el cargo de procurador en Cortes en la I Legislatura de las Cortes Españolas (1943-1946), representando a los Municipios de esta provincia.

En la década de 1970 comienza la crisis del Mercurio y el efecto inmediato fue la mecanización de la mina para reducir mano de obra.

A principios de este siglo, la Unión Europea alentada y mediada por informes científicos que demuestran el potencial dañino del Mercurio para la salud, puso en marcha la Estrategia Comunitaria sobre el Mercurio. Las medidas de la UE y la baja rentabilidad de la explotación derivaron en la paralización en 2001 de la actividad extractiva del mineral en Almadén y dos años más tarde, el cierre de la actividad metalúrgica.

Desde 2001 Minas de Almadén y Arrayanes (MAYASA), empresa perteneciente al Estado Español que desde 1982 explotaba y comercializaba los recursos naturales de la Mina de Almadén, se dedica sólo, en este ámbito, a comercializar el Mercurio excedentario procedente de la industria europea del cloro, el cual, una vez tratado, se exporta a países dentro y fuera de la Unión Europea. Esta actividad se mantendrá hasta 2011, año en el que entra en vigor la Estrategia Comunitaria del Mercurio⁵ que exige el cese total de la producción y exportación de este metal.

⁵ Habida cuenta de los riesgos para la salud humana y el medio ambiente que se derivan del mercurio, la Unión Europea (UE) elabora una estrategia articulada en torno a seis objetivos, combinados con acciones específicas, destinada principalmente a reducir las cantidades de mercurio en la UE y en el mundo, su circulación y la exposición de las poblaciones a dicha sustancia.

Al mismo tiempo, MAYASA está realizando un gran esfuerzo en la búsqueda de alternativas productivas capaces de reemplazar una actividad minera que se remonta a más de dos milenios, a fin de que las decisiones de la U.E. no supongan perjuicio para Almadén y su Comarca. En las imágenes que siguen se muestra el aspecto de las instalaciones mineras donde se encuentran, en un primer término, las escombreras (antes, durante y después de su recuperación).



*Figura 20: Panorámica oeste de Almadén. En primer término vista de las explotaciones mineras antes de su recuperación medioambiental y patrimonial.
Fuente: www.comarcadealmaden.com*



Figura 21: Panorámica de las labores de recuperación de las escombreras.

En un primer plano, la escombrera prácticamente recuperada, seguidamente el Cerco de Buitrones dentro del Cerco de San Teodoro.

Fuente: www.parqueminerodealmaden.es



Figura 22: Panorámica del Parque Minero de Almadén con la ciudad al fondo.

En un primer plano, la escombrera prácticamente recuperada, seguidamente el Cerco de Buitrones dentro del Cerco de San Teodoro.

Fuente: hwww.lacerca.com



Figura 23: Plano situación de escombreras

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

El censo de Almadén, que había ido creciendo en los siglos anteriores, comenzó a sufrir un proceso demográfico regresivo que le ha llevado a un descenso de población alarmante.

En la actualidad, el cierre de la actividad minera ha impulsado la búsqueda de nuevas alternativas que vengan a paliar el declive que vive la comarca desde la década de los años setenta y el efecto demoledor que ha tenido el cese de su actividad milenaria a principios de este siglo.

7.2.6. Monumentos y lugares de interés

En estos últimos años, se ha realizado un gran esfuerzo por parte de las distintas administraciones por recuperar el importante Patrimonio que posee, no solo la ciudad de Almadén, sino también su Comarca. Fruto de este esfuerzo, son un buen número los

monumentos, museos y lugares de interés que se pueden visitar para el disfrute de aquellos que quieran acercarse a esta tierra.

El **Parque Minero** permite un fascinante recorrido a lo largo de más de 2.500 años de historia. Podemos visitar el interior de una de las minas más antiguas del mundo, así como sus museos, centros de interpretación e interesantes muestras de arqueología industrial. Una aventura donde se puede conocer cómo vivían en las minas los condenados a galeras, se pueden ver las huellas del oleaje marino a 300 km del mar actual, para qué se utilizaba el Mercurio y un largo etcétera de cómo una mina ha influido en el devenir de España y el Mundo.

Los visitantes del Parque Minero de Almadén pueden conocer la riqueza geológica de los yacimientos existentes, la evolución de los diversos procesos mineros y metalúrgicos a lo largo de su historia, la importancia del Mercurio en el desarrollo histórico de la sociedad y el impacto de la explotación de la mina de Almadén a nivel mundial.

El Parque Minero pretende convertirse en una pieza más del motor de desarrollo social, económico y cultural de Almadén y su Comarca. MAYASA creó en 1999 la *Fundación Almadén “Francisco Javier de Villegas”* con el fin de rehabilitar el patrimonio histórico de las Minas de Almadén, consideradas Bien de Interés Cultural y que consiguieron ser nombradas Patrimonio de la Humanidad.

La visita al Parque Minero de Almadén comienza en el **Centro de Interpretación de la Minería**, donde los visitantes pueden conocer cómo es la mina antes de bajar a la misma. Consta de varios edificios contruidos a principios del siglo XX, entre los que destacan el antiguo **Edificio de Compresores**, convertido hoy en día en **Museo de la Minería**, el **Edificio de Talleres** y el **Edificio de Dirección**. La zona visitable de la mina corresponde a la planta primera, donde existen dos partes bien diferenciadas: la mina del Pozo, perteneciente a los siglos XVI y XVII, y la mina del Castillo, del siglo XVIII, unidas entre sí a través de la llamada *caña gitana*.

La visita al interior de la mina termina con el torno de Castro, donde hay una recreación del desagüe mediante zacas de cuero, y con la galería de forzados que unía

directamente la mina con la **Real Cárcel de Forzados**, edificio derruido en 1969 y reemplazado años más tarde por la Escuela Universitaria Politécnica.

Al salir de la mina, el ascensor no lleva a los visitantes a la superficie, sino que se detiene a 16 m por debajo de ella, donde un tren minero subterráneo traslada a los visitantes hasta el *recinto de la metalurgia*. Se accede así por el camino que recorría el mineral en la segunda mitad el siglo XX al **Cerco de Buitrones**, un lugar donde se pueden conocer los hornos.

En 1633, Lope Saavedra Barba inventó en la mina de Mercurio de Huancavelica (Perú) los **hornos de aludeles**, que fueron introducidos en Almadén en 1646 por Juan Alonso de Bustamante, por lo que también se llaman **hornos de Bustamante**.



Figura 24: Vista de los hornos de aludeles o de Bustamante
Fuente: Elaboración propia

El antiguo almacén de azogue, construido en 1941, ha sido rehabilitado y convertido en el **Museo del Mercurio**. El patio central del edificio está dedicado a la geología de las minas, el sótano del edificio a la historia de las minas, en una de las salas de la planta superior se pueden ver maquetas de algunos de los hornos que se han venido utilizando y en la otra sala de la planta superior se muestran las propiedades características del Mercurio y sus aplicaciones industriales y científicas, muy numerosas e importantes.



Figura 25: Centro de Interpretación del Mercurio (antiguo Almacén del Mercurio)

Fuente: www.lacerca.com

Fuera del cerco minero, se encuentra el **Real Hospital de Mineros de San Rafael**, sede de la *Fundación Almadén “Francisco Javier de Villegas”*. Fue declarado Bien de Interés Cultural en el año 1992. Fundado por el superintendente Francisco Javier Villegas el 28 de agosto de 1752, fue uno de los primeros hospitales en España que contó con una estructura asistencial profesionalizada y puede considerarse como un logro de los ideales del movimiento sanitario ilustrado del siglo XVIII.



Figura 26: Fachada del Real Hospital de Mineros ya rehabilitado

Fuente: www.viajeuniversal.com

Fue el primer edificio restaurado del conjunto arquitectónico propiedad de MAYASA, cuyas obras de rehabilitación finalizaron en 2003, con una inversión de unos 2,5

millones de euros y cofinanciados por MAYASA, fondos FEDER y la Fundación Caja Madrid. En su interior alberga el Archivo Histórico de las Minas y el Museo Minero.

El Museo Minero cuenta con dos salas, una dedicada a la salud, haciendo especial hincapié en la enfermedad característica de los mineros de Almadén como el hidrargirismo, y la otra sala explica cómo trabajaban y vivían los mineros.



Figura 27: Interior del Real Hospital de Mineros
Fuente: www.viajeuniversal.com

Edificio construido entre los años 1755 y 1773, está íntimamente relacionada su construcción a la Plaza de Toros de Almadén de donde se obtiene parte del dinero para financiar su construcción.

Fue el precursor en España de la Salud Laboral, investigando y desarrollándose curas y tratamientos para las enfermedades desarrolladas a consecuencia de la minería como el hidrargirismo, destacando figuras como José Parés y Franqués y Guillermo Sánchez Martín, así como de los tratamientos para su curación con el *cajón sauna* y la *playa*.

Tras el museo, podemos continuar la visita por los Jardines, desde los que accederemos a los Calabozos en los que eran tratados los presos enfermos que trabajaban en las minas.



Figura 28: Interior de los calabozos
Fuente: www.turismocastillalamancha.com

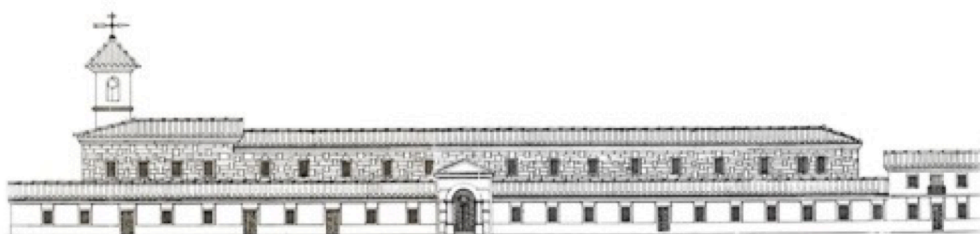
Ubicados en el interior de las Instalaciones de la actual Escuela Universitaria Politécnica de Almadén, se encuentran el **Museo Histórico-Minero “Francisco Pablo Holgado”, Ruinas de la Real Cárcel de Forzados y su Centro de Interpretación**. Este interesante museo alberga colecciones de minerales y rocas dispuestas de una forma amena y sencilla para poder conocer este mundo. Al mismo tiempo conserva en su parte histórica una interesante colección de elementos empleados por los capataces de minas así como elementos de la Antigua Escuela de Minas.

Para entender la existencia de la cárcel es necesario explicar la importancia que tuvo en su momento la extracción del Cinabrio. El Mercurio adquirió gran trascendencia en el mundo moderno gracias a su utilización a gran escala en los procesos de amalgamación.

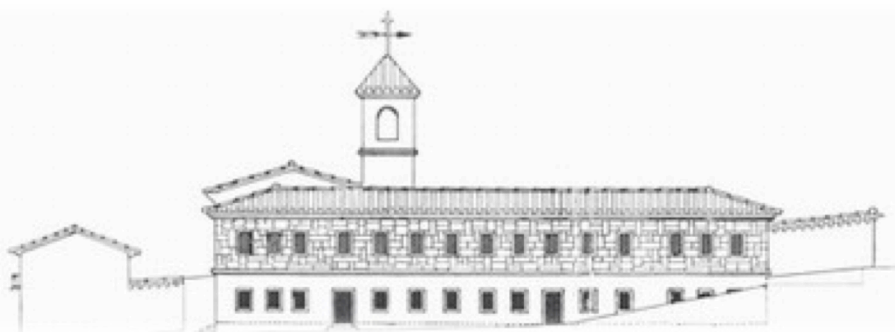
En época de los Hermanos Függer, la aparición de la condena a las Minas de Almadén, íntimamente ligada a la aparición de la pena de galera, tiene un fin utilitario indudable: la falta de gente requerida en la mina para su recuperación, primero, y después, para el mantenimiento de los niveles de producción de azogue concertados en los sucesivos arriendos entre la Corona y los Fúcares (en el lenguaje coloquial español), lo que hizo que en 1559 se solicitara desde el establecimiento el envío de treinta condenados a galeras, a lo que el monarca contestó que, si bien al parecer no serían útiles, dada la calidad de la mano de obra, se enviarían algunos para hacer la experiencia. A partir de ese momento, veremos establecerse en todos y cada uno de los asientos de explotación de la mina una cláusula sobre el empleo de forzados que incluía la jurisdicción inhibitoria sobre ellos, desde el número inicial teórico de los treinta concertados en 1566 hasta los sesenta u ochenta que recoge el asiento de 1623. A ello hay que sumar una cifra

más o menos similar de esclavos, comprados por los administradores o enviados allí por sus dueños para su “corrección”, que siempre había en la mina como mano de obra igualmente “no libre” para colaborar en unas tareas cuya peligrosidad retrajo a muchos potenciales obreros del trabajo en la mina; en todo caso los trabajadores libres eran más costosos para el establecimiento que los forzados y esclavos. Los reos se enviaban desde la cárcel de Toledo de aquellos que esperaban su partida en “cadenas” hacia los arsenales de marina. En las sentencias se impone expresamente la condena “a servir en las minas de Almadén”, pena que ha cobrado autonomía aunque no exista para ella leyes distintas de las elaboradas para la pena de galeras.

En cuanto al final de este tipo de condenas, después de más de doscientos cincuenta años de vigencia se suprimió la pena de minas por Real Orden de 22 de mayo de 1799; al año siguiente fue dismantelado el presidio, trasladándose sus ocupantes al de Ceuta.



*Figura 29: Vista frontal Real Cárcel de Forzados.
Fuente: Dibujo de Eduardo Tejero, 1993*



*Figura 30: Vista lateral Real Cárcel de Forzados
Fuente: Dibujo de Eduardo Tejero, 1993*

La cárcel, durante su vida tuvo varios nombres: Penal, Cárcel del Partido, Cárcel de Forzados, Real Cárcel, Cárcel Nueva, Cárcel de Galeras. El significado de la cárcel en Almadén fue importante sobre todo para el impulso que le dio en los trabajos en la mina, ya que se llegaron a utilizar hasta doscientos esclavos cuando la falta de mano de obra se hacía patente por aquellos tiempos.

El **Castillo de Retamar**, construido por los árabes en el siglo XII, fue reforzado y ampliado en 1467 por el Clavero de la Orden de Calatrava, López de Padilla. Antiguamente, la construcción de mampostería de cal y canto con hiladas de ladrillo ocupaba un amplio espacio de la plaza y casas que la rodean en la actualidad. Solo quedan los restos del mismo, incluido una torre cuadrada que lo corona en forma de campanario que fue construida en el siglo XVIII.

Tras su últimas obras de restauración cuenta con un mirador que nos permite observar una interesante panorámica de la localidad.

El acceso al interior se realiza acompañado por guías locales o bien solicitando en la oficina de turismo.



Figura 31: Distintas vistas del Castillo de Retamar

Fuente: www.scribd.com

La **Plaza de Toros de Almadén**, sin duda uno de los edificios más emblemáticos de la localidad de Almadén, única en el mundo por su forma hexagonal, la cual está considerada como una de las plazas de toros más antigua de España, construida a partir de 1752, fue declarada monumento nacional en 1979. Actualmente, se encuentra dentro

de la Unión de Plazas de Toros Históricas (UPTH) que engloba a las plazas de toros más antiguas del mundo.



Figura 32: Plaza de Toros de Almadén
Fuente: www.almaden.es

La **Iglesia Parroquial “Nuestra Sra. de la Estrella”** fue construida en 1747 a cargo de las limosnas de los mineros, era la primitiva ermita de nuestro Padre Jesús de Nazareno ampliada y convertida en Iglesia a principios del siglo XVIII. En el exterior, su portada principal se ordena en dos cuerpos flanqueados por columnas sobre pedestal y pilastras, rematados por entablamentos y frontones, con su correspondiente espadaña para las campanas. La torre del reloj y su estructura de hierro fueron añadidas por el ayuntamiento en 1885.



Figura 33: Interior de la iglesia parroquial
Fuente: www.almadenysusrincones.com

La **Ermita de Fátima** conocida con anterioridad como *Ermita de Santa Ana*, y posteriormente, *Ermita del Cristo de la Fuensanta*, ha sufrido innumerables transformaciones. En la actualidad la fachada es de piedra con hiladas de ladrillo. La portada está construida en ladrillo con frontón triangular y rematada por una pequeña espadaña. Dedicada a la Virgen de Fátima, es un lugar de gran devoción para las gentes de la localidad.



Figura 34: Distintas vistas de la Ermita de Fátima
Fuente: fotosdeaquidealla.wordpress.com

La **Iglesia de San Sebastián**, una de las iglesias más antiguas de la localidad, fue derruida casi en su totalidad a principios del siglo XVIII y reconstruida nuevamente con unas dimensiones más pequeñas que las de la primitiva iglesia. Presenta planta rectangular de una sola nave y está construida de mampostería cortada con dos verdugales de ladrillo. La espadaña está construida con ladrillo en dos cuerpos, el inferior con tres huecos con arco de medio punto y el superior adintelado con un solo hueco. La portada presenta un tímpano rematado con arco. En su interior presenta una curiosa escalera de caracol realizada en madera de encina.



Figura 35 : Iglesia de San Sebastián
 Fuente: www.turismocastillalamancha.com

La ***Casa de la Superintendencia*** se encuentra situada junto a la iglesia de San Sebastián y era la casa destinada a vivienda de los superintendentes y como oficinas de contaduría y pagaduría. Su ubicación junto a la mina permitía al Superintendente un control mayor de los trabajos.

Data del siglo XVIII, es de estilo barroco y sólo queda el cerramiento y parte de la puerta principal que además se encuentra en bastante mal estado. En su interior se ha creado un pequeño parque, habiendo desaparecido el resto de la casa por completo.



Figura 36 : Casa de la Superintendencia
 Fuente: www.almaden.es

La ***Casa de la Inquisición y de los Fúcares*** está situada en el casco antiguo de la Almadén y presenta planta rectangular. Perteneció a la inquisición y fue utilizada como residencia de los representantes de la familia Függer mientras tuvieron arrendada la mina. La fachada tiene una interesante portada en piedra con dintel acusado en cornisa, con una pequeña ventana en la parte superior y tres ventanas con rejería de forja. En la actualidad se ha recuperado y es un hotel rural.

La ***Academia de Minas*** fue fundada en el reinado de Carlos III aprovechando el adelanto y la solera técnica del núcleo minero de Almadén. Dirigió los primeros estudios de Geometría Subterránea y Mineralurgia, el ingeniero D. Enrique Cristóbal Störr, a la sazón director de las Minas de Almadén, siendo la tercera en antigüedad de Europa, pues como ya queda dicho las dos primeras habían sido creadas diez años antes en Freiberg (Sajonia) y en 1775 la de Rusia, en San Petersburgo.

En 1785 se amplían las enseñanzas. En esta época inicial salen de sus aulas profesores y alumnos tan brillantes como Fausto Elhúyar, descubridor del wolframio, y Andrés Manuel del Río, descubridor del vanadio, que implantan ambos en el Nuevo Mundo los más modernos métodos de la época en minería. También, en 1785, se aplican por primera vez en España el cálculo logarítmico para la resolución de problemas que planteará el estudio de la geometría subterránea.

La Escuela de Ingenieros se traslada a Madrid en 1835, permaneciendo la Academia de Almadén como Escuela de Capataces de Minas, rigiéndose por el Reglamento de 1841 y pasando posteriormente a ser Escuela de Facultativos de Minas y Fábricas Mineralúrgicas y Metalúrgicas.

En virtud de Orden Ministerial de 20 de junio de 1962, pasa a denominarse Escuela de Peritos de Minas y Fábricas Mineralúrgicas y Metalúrgicas. Las enseñanzas impartidas corresponden al Plan de 1957, siendo asignadas a la Escuela de Almadén las Especialidades de Minería, Metalurgia y Siderurgia, e Instalaciones Eléctricas en Minas y Fábricas.

Por Ley 2/1964 pasa a ser Escuela de Ingeniería Técnica Minera, y en el curso 1964-65 se adaptan a la misma los alumnos que proceden del Plan 1957 (Peritos de

Minas). Las especialidades asignadas a la Escuela fueron las de Explotación de Minas, Electromecánica Minera y Fábricas Siderometalúrgicas y Mineralúrgicas.

Por Orden Ministerial de 11 de septiembre de 1967, se asigna a la Escuela la especialidad de Instalaciones de Combustibles y Explosivos, suprimiéndose por la misma Orden la Especialidad de Electromecánicas Mineras.

Por Decreto 148/1969, se establecen las siguientes denominaciones para las especialidades impartidas en la Escuela: Explotación de Minas, Metalurgia e Instalaciones de Combustibles y Explosivos.

Por aplicación de la Ley General de Educación y Financiamiento de la Reforma Educativa de 14/1970 de 4 de agosto, se comenzó a impartir el Plan Experimental, con las especialidades siguientes:

- Laboreo y Explosivos
- Combustible y Energía
- Sondeos y Prospecciones Mineras
- Instalaciones Electromecánicas Mineras
- Metalurgia
- Cementos y Mineralurgia

La Escuela se integra en la Universidad Politécnica de Madrid por Decreto 1377/1972.

Más tarde, en virtud del Real Decreto 1848/1978 de 2 de junio, pasa a ser Escuela Universitaria Politécnica de Ingeniería Técnica Minera e Industrial, dependiente de la Universidad Politécnica de Madrid, con dirección única, iniciándose en el curso 1978-79 los estudios de la Rama Industrial e impartándose las enseñanzas correspondientes al Primer Curso. Las especialidades impartidas dentro de la Ingeniería Técnica Industrial son las siguientes:

- Mecánica (Estructuras e Instalaciones)

- Electricidad (Centrales y Redes)
- Química (Petroquímica y Polímeros)

A partir del día 1 de octubre de 1985, en virtud del Real Decreto 717/1985, de 2 de abril, la Escuela Universitaria Politécnica se integra en la Universidad de Castilla La Mancha. A partir del curso 2010/2011 se implantaron los nuevos planes de estudios de Grado, que componen un total de cuatro titulaciones para la Escuela:

- Grado en Ingeniería de Minas
- Grado en Ingeniería de los Recursos Energéticos
- Grado en Mecánica
- Grado en Electricidad

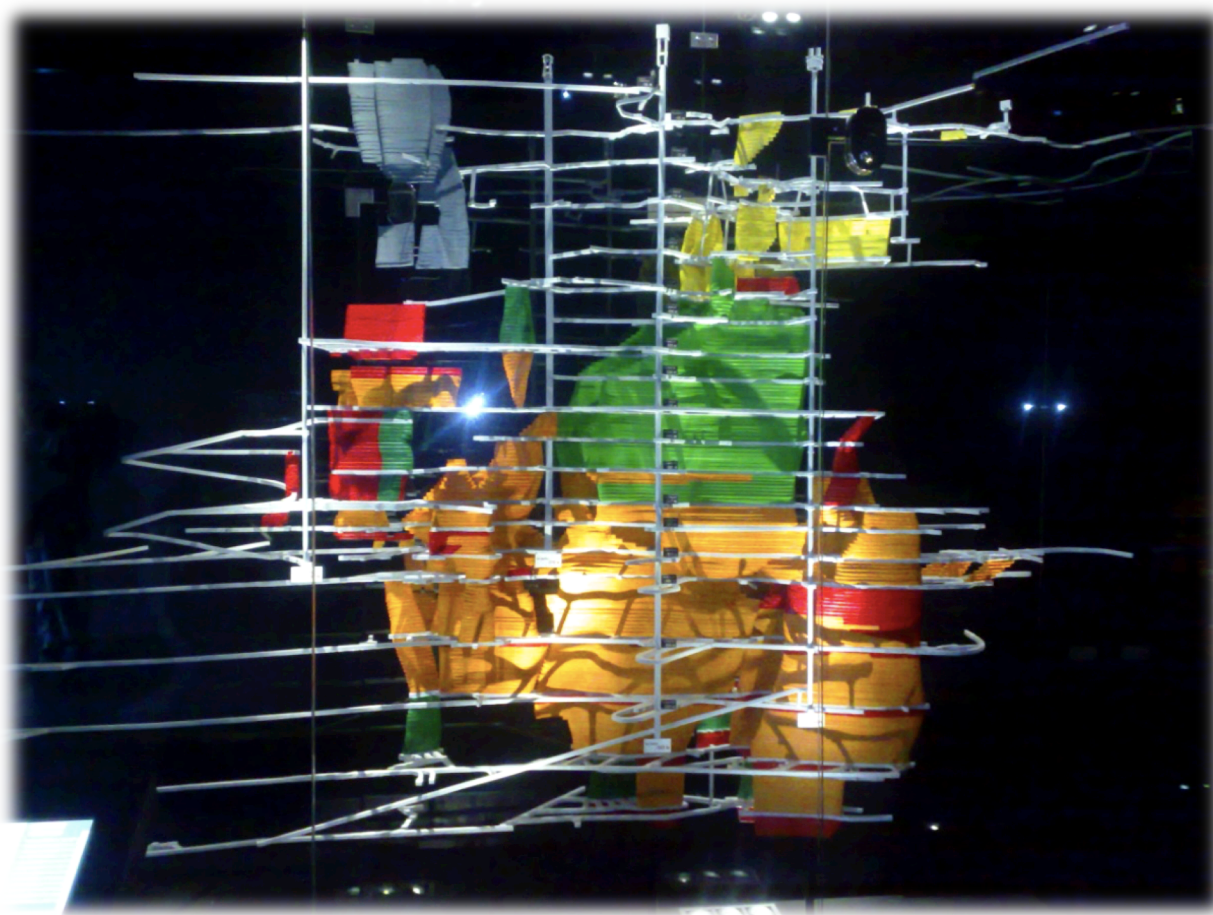
7.2.7. Breve historia de las Minas de Almadén. El Yacimiento.

El yacimiento de Almadén se formó hace unos 430 millones de años, cuando las cuarcitas que hoy forman su subsuelo se estaban depositando bajo el mar en una plataforma continental de poca profundidad. Contemporáneamente surgió un volcanismo profundo de tipo básico que arrastró el Mercurio desde las entrañas de la Tierra. El Mercurio se combinó con el azufre, en parte de origen profundo y en otra marino, formando el Cinabrio que mineralizó la cuarcita de Criadero. Esta, en aquel momento, era una arena permeable que permitió el paso de las soluciones circulantes que transportaban el Cinabrio, empapándose de él. La compactación posterior de esta roca dio lugar a la cuarcita de Criadero actual. En cambio, las pizarras circundantes son estériles por la falta de permeabilidad de las arcillas que dieron lugar a aquellas, posteriormente.

Como ya se presentó en apartados anteriores, en la zona de Almadén existen otros yacimientos de Mercurio de menor importancia como son El Entredicho, Las Cuevas, La Concepción Vieja y la Concepción Nueva. La producción conjunta de todos estos yacimientos se estima que asciende a unos 700.000 frascos de Mercurio, algo menos de la décima parte de la mina de Almadén, lo que da idea de su excepcionalidad.

En todos los yacimientos de Almadén el mineral principal es el Cinabrio (sulfuro de Mercurio, HgS) con su característico color rojo bermellón, presentándose casi siempre masivo y raramente cristalizado. La otra mena, aunque difícilmente recuperable por su movilidad, es el Mercurio nativo, siempre tan espectacular cuando se presenta.

En la siguiente figura, se pueden observar un corte de la explotación de las galerías actuales de Minas de Almadén según distintas épocas.



	<i>Mina Fúcar (siglos XVI y XVII)</i>
	<i>Mina del Castillo (siglo XVIII)</i>
	<i>La explotación Larrañaga (siglo XVIII)</i>
	<i>El Consejo de Minas de Almadén (primera mitad del siglo XX)</i>
	<i>La Mina Moderna (segunda mitad del siglo XX)</i>

Figura 37: Explotación de Minas de Almadén en las distintas épocas desde el siglo XVI hasta el fin de su explotación.

Fuente: Parque Minero de Almadén

Desde el año 2002 las minas se encuentran clausuradas debido a la caída del precio del Mercurio en el mercado mundial por la reducción de uso por razones comentadas en apartados anteriores. De hecho, actualmente la mayoría de los termómetros son eléctricos o de alcohol tintado, aunque en ensayos científicos se usan los de Mercurio por su mayor precisión. No obstante, se encuentran en perfecto estado y en condiciones de abrirse de nuevo en el caso de que vuelva a ser rentable su explotación. En 2006 las puertas de la mina de Almadén fueron abiertas al público para poder ser visitadas.

La historia de las Minas de Almadén es tan larga y rica como su producción. Ininterrumpidamente desde el siglo III a.C. hasta la actualidad ha habido actividad minera del Mercurio en la comarca de Almadén; importantes acontecimientos históricos han estado vinculados a la Mina.

Sisapo o Sisalone, nombre con el que se conocía antiguamente a Almadén, significa en lengua celta "cueva de que se extraen metales". El historiador Teofrasto⁶, discípulo y amigo de Aristóteles, indicaba que se estimaba mucho el Cinabrio duro que procedía de España. Romanos y árabes explotaron la mina, extrayendo Cinabrio.

En la *época romana* Almadén debió ser una ciudad relativamente importante, puesto que incluso acuñaba moneda. Se han encontrado en la ciudad numerosos "ases" romanos (monedas de cobre) con la inscripción SAESAPO.

Los *árabes* explotaron la mina durante los siglos VIII al XIII. Ya se ha visto como muchos términos de la minería del Mercurio provienen del árabe: Almadén (nombre -del árabe al-ma 'daniy 'yun, "la mina" o "el mineral"), aludel, azogue, alarife, y de esta época son los llamados "hornos de xabecas", que se utilizaron hasta casi finales del siglo XVI.

⁶ (Isla de Lesbos, actual Grecia, 371 a.C. - 287 a.C.) Filósofo griego. Según el testimonio de Diógenes Laercio, su verdadero nombre era Tirtamo, pero su gran amigo el filósofo Aristóteles se lo cambió por el que conocemos, que significa «de habla o estilo divino». Teofrasto frecuentó la escuela de Platón y la de Aristóteles y, hasta hace poco, se le consideraba como un epígono del último. Sin embargo, las últimas investigaciones de los historiadores conceden un papel más relevante a este filósofo y coinciden en atribuirle una serie de innovaciones respecto a la lógica aristotélica. Así, se entiende que Teofrasto desarrollara numerosos teoremas para la lógica proposicional, además de la doctrina de los silogismos hipotéticos y la lógica modal, con lo que habría constituido el punto de inflexión entre la lógica aristotélica y la estoica. La obra más importante de Teofrasto es *Caracteres*, que tuvo una gran influencia en las posteriores clasificaciones de caracteres y tipos psicológicos. El filósofo se prodigó también en otras materias, como la botánica, la geología, la física, la psicología, la política y la metafísica, a pesar de que de esta amplia obra sólo se conservan unos pocos tratados y fragmentos.

En el siglo XII la mina tenía una profundidad de unos 450 m y trabajaban en ella más de 1.000 obreros. El Mercurio se utilizaba por los alquimistas y médicos para preparados medicinales y como motivo ornamental.

A mediados del siglo XIII se reconquista Almadén por los cristianos y la mina se cede a la Orden de Calatrava⁷, la cual arrienda su explotación a catalanes y genoveses.

Sigue arrendándose la mina a particulares durante los siglos XIV, XV y XVI. En 1523 se concede la administración perpetua de los bienes de las Órdenes a la Corona española. Los productos que se comercializan en estos siglos son el bermellón, el azogue y el solimán⁸. Este se producía a partir del azogue y se utilizaba para el curtido de cueros.

A partir del siglo XVI, el Mercurio se convierte en un bien con gran valor por su utilidad en la amalgamación del oro y la plata que provenían de América. Almadén se desarrolla como un importante centro minero-industrial, que contribuyó a la explotación de las riquezas traídas del Nuevo Continente.

Como ya se ha visto, durante los siglos XVI y XVII la mina se arrendó a los banqueros alemanes Függer para pagar los préstamos concedidos a Carlos I, para los gastos de su coronación. Esta familia de banqueros, conocida como la Casa Blanca Alemana, introdujo en Almadén numerosas innovaciones, tanto técnicas como organizativas. Entre las primeras pueden destacarse los hornos de reverberación o "buitrones".

La mayor parte del azogue producido, se enviaba a Sevilla, desde donde se embarcaba a América. El azogue era un bien de tal importancia para la economía española en América, que todos los envíos de mercaderías hacia aquél continente se ajustaban a la producción de azogue y, por lo tanto, a las vicisitudes de la producción de la mina de Almadén y de su embarque en Sevilla. Llegaron a construirse barcos especialmente

⁷ La Orden de Calatrava es una orden militar y religiosa, fundada en el Reino de Castilla en el siglo XII, en el 1158 por el abad Raimundo de Fitero, con el objetivo inicial de proteger la villa de Calatrava, ubicada cerca de la actual Ciudad Real. Pertenece al grupo de las órdenes cistercienses y, en la actualidad, únicamente tiene carácter honorífico y nobiliario.

⁸ Sustancia corrosiva compuesta por cloro y mercurio, obtenida por sublimación.

diseñados para el transporte del Mercurio, como el "Tolosa", de 1.500 t, y el "Guadalupe" de 1.000 t.

Desde el siglo XVII la producción de las minas disminuye por el agotamiento del mineral en las explotaciones conocidas y por encontrarse las labores en malas condiciones. En esa época sucedió la mayor tragedia en la mina, un incendio iniciado en el mes de enero de 1755 se prolongó durante más de dos años, muriendo numerosas personas.

Durante el reinado de Carlos III, para la modernización de las técnicas de la mina, se nombraron varios directores alemanes de la escuela de Freiburg (en Sajonia) para que en 1777 se fundara en Almadén la Escuela de Minas.

Tanto durante el medio siglo de directores alemanes, como bajo la dirección de su primer sucesor español, Diego de Larrañaga⁹, (formado en la propia Escuela de la Mina), se introdujeron importantes innovaciones en las técnicas mineras. Las fechas finales del siglo XVIII y comienzos del XIX contemplaron un gran crecimiento de la actividad minera en Almadén.

En los albores del siglo XIX la situación crítica de la Hacienda Pública provocó que las minas se hipotecaran, concediéndose el monopolio de la venta del Mercurio en 1833 a

⁹ Diego de Larrañaga (?-1814). Ingeniero de minas español nacido en Azcoitia (Guipúzcoa) en 1760 y muerto en Madrid en 1814.

Realizados sus primeros estudios en su ciudad natal, se trasladó a Madrid, donde estudió matemáticas y ciencias naturales. En 1790 se le otorgó una cátedra en la Academia de Minas de Almadén, que había sido creada en 1777. En 1792 obtuvo autorización para seguir en Madrid el curso de docimasia y metalurgia que por entonces dictaba Francisco Chavaneau. En 1797 fue comisionado al extranjero junto con Francisco de la Garza, para perfeccionarse en su especialidad. A juzgar por las memorias redactadas, el viaje fue muy productivo se prolongó hasta agosto de 1800 y en el transcurso del mismo visitaron minas y establecimientos fabriles, principalmente en Alemania, Austria y Hungría. Siguieron los cursos de geometría subterránea en la Academia de Minas de Videnhak (Hungría) y los de Abraham T. Werner sobre orictognosia, geognosia y formación de filones en la Academia de Freyberg, teniendo ocasión de estudiar in situ las célebres minas de mercurio de Idria (Austria), donde estaban establecidos unos hornos que podían interesar en España. A su vuelta, trajeron consigo numerosos planos, informaciones diversas y libros traducidos. Larrañaga se reincorporó a su cátedra con una enseñanza totalmente remozada y poco después se hizo cargo de la dirección de Almadén y también de la fábrica de bermellón y lacre adjunta. Introdujo los hornos de Idria en 1806 y modificó el sistema de laboreo establecido por Juan Martín Hoppensack, en tal forma que el nuevo método alcanzó una larga vigencia. Como consecuencia de numerosos ensayos puso a punto una nueva técnica de preparación del lacre que acabó con el monopolio privado que había en la época en España. Acusado de afrancesado tras la retirada francesa, fue depuesto de su cargo en 1813 y cuando fue rehabilitado en septiembre de 1814 faltaba tan sólo un mes para su muerte. Su hermano José le sucedió en buena parte de sus tareas.

la casa Iñigo Espeleta, de Burdeos. En 1835 se adjudicó a la casa Rothschild la subasta del azogue.

En 1916 se crea un organismo especial para la dirección de las minas, el *Consejo*, bajo cuyo mandato se introducen mejoras técnicas en la explotación. Tras la Guerra Civil las minas alcanzan el récord de su producción en 1941 con 82.000 frascos de Mercurio en parte condicionado por la utilización de presos en los trabajos de la mina (vuelve a utilizarse el llamado "túnel de forzados"). A partir del año 1972 el mercado mundial del Mercurio se retrae coincidiendo con una fuerte recesión económica.

En el año 1982 se crea la empresa *Minas de Almadén y Arrayanes, S.A.*, con capital perteneciente en su totalidad al Estado a través de la Dirección General del Patrimonio. La Empresa lleva a cabo, a partir de ese momento, un importante esfuerzo de diversificación.

Desde mayo de 2001 Minas de Almadén se integra en la Sociedad Estatal de Participaciones Industriales (SEPI).

Una de las maneras que se tiene de recopilar datos históricos es a través de la memoria popular transmitida a lo largo de generaciones. Evidentemente, es una forma de recabar información muy subjetiva porque el testimonio depende de cada individuo, siendo frecuente la omisión de datos y la adición de otros erróneos. A pesar de estos inconvenientes, muchas veces se convierte en la única fuente de conocimientos, pudiéndose utilizar para generar teorías que deben ser verificadas mediante otros métodos de contrastación.

En este sentido, a través de los más ancianos del entorno o bien de nativos, grandes enamorados de la arqueología de Almadén, ha sido posible la localización, y su posterior estudio, de restos de hornos de tejera y metalúrgicos del tipo de xabecas además de ollas de hornos de xabeca y de reverbero.

7.2.8. Restos arqueológicos

Dentro del Cerco de San Teodoro, lo que se consideran actualmente las instalaciones del parque minero, y como consecuencia de las distintas actuaciones de recuperación de escombreras y de limpieza de terrenos, se encontró y recuperó un horno de tejera, del cual se hablará más tarde detenidamente, por la vital importancia alcanzada por estos hornos para con el funcionamiento de algunos de los más importantes hornos metalúrgicos. Junto a estos hornos se ha documentado una alberca donde se amasaba la arcilla para hacer las tejas y ladrillos.

A finales del siglo XIX se transformó la alberca para construir un sistema de obtención de Mercurio mediante procesos químicos que recibió el nombre de **horno Berrens**. La huella que ha dejado este horno ha sido un conjunto de tenajillas y pocetas de decantación.



*Figura 38: Vista de tenajillas y pocetas de decantación de los restos de un horno Berrens.
Fuente: www.parqueminerodealmaden.es*

También quedan al Noroeste de las instalaciones del parque minero de MAYASA, unos restos de una chimenea perteneciente a uno de los **hornos Cermak** que se puede observar en la siguiente figura.



*Figura 39: Obras de urbanización del entorno del parque minero.
A la izquierda vista de la chimenea de un horno Cermak.
Fuente: www.scribd.com*

Solamente quedan de manera testimonial los **hornos metalúrgicos de aludeles o de Bustamante**, que fueron recuperados recientemente, y posiblemente los más utilizados y con mejores resultados a lo largo del tiempo y los **hornos Pacific-Herreshof** por ser la última tecnología empleada.



*Figura 40 : Panorámica de los Hornos de aludeles
Fuente: www.ticcih.es*



Figura 41 : Panorámica de los *Pacific-Herreshof*
Fuente: www.panoramio.com

Actualmente, no quedan más restos arqueológicos fácilmente localizables dentro de las instalaciones mineras. Con casi toda seguridad, se puede afirmar que si se realizasen estudios arqueológicos, fácilmente se detectarían restos de las mismas así como de los hornos metalúrgicos que bien han servido de experimento, o bien han sido utilizados a lo largo de la historia. Por otra parte, sí que se puede afirmar que los restos existentes de distintos tipos de hornos se encuentran localizados en la finca de la Dehesa de Castilseras y en los alrededores del casco urbano del pueblo de Almadén.

7.2.9. Otros enclaves del patrimonio minero-industrial relacionados con la actividad minera

En Almadén, contruidos desde antiguo para preservar las instalaciones mineras, podremos ver el Cerco de San Teodoro en cuyo interior se encuentran actualmente el Centro de Recepción de Visitantes, el Museo de la Minería, los antiguos talleres y el edificio de Dirección, así como los Pozos San Teodoro y San Aquilino, y el Cerco de Buitrones donde se encuentran desde antiguo las instalaciones metalúrgicas.

Entre los elementos más importantes destacan, el Museo del Mercurio, el Pozo de San Joaquín, la Puerta de Carlos IV y la Puerta de Carros, así como los Hornos Bustamante, los Hornos Pacific y el Horno de Tejeras.

La Puerta de Carlos IV es la puerta de entrada al Cerco de Buitrones, desde que se construyó en 1795, reinando dicho monarca. La puerta da acceso al Cerco de Buitrones y forma parte de uno de los conjuntos de urbanismo y arquitectura industrial más relevantes de España. Su construcción es de estilo neoclásico, con rasgos barrocos y un simbólico significado claro de poder.

Por esta puerta salían las numerosas cuadrillas de carretas de bueyes y recuas de mulas que transportaban el Mercurio desde Almadén a Sevilla para la minería de la plata mejicana.



*Figura 42: Vista de la Puerta de Carlos IV
Fuente: www.viajeuniversal.com*

La restauración, que finalizó en el año 2004, fue realizada por el Instituto de Patrimonio Histórico Español, dependiente del Ministerio de Cultura.

Dentro de la zona visitable correspondiente a la planta 1ª, podemos observar la mina del Pozo (siglo XV-XVI) y la del Castillo (siglo XVIII) unidas entre sí a través de la llamada caña gitana. Ya se ha comentado como actualmente la bajada a la mina se realiza por un ascensor situado en el pozo de San Teodoro, bajando a 50 m de profundidad.

Interiormente, encontraremos, entre otros, el socavón de la mina del Pozo, el embarque del pozo de San Aquilino, un cuarto de herramientas, una explotación en

testeros, el socavón de la mina del Castillo, el baritel y pozo de San Andrés, el torno de Castro y galería de Forzados.



*Figura 43: El baritel de las minas de Almadén, único en Europa que se encuentra bajo tierra.
Fuente: www.eldigitalcastillalamancha.es*



*Figura 44: Simulación de subida de carga mediante el malacate
Fuente: www.parqueminerodealmaden.es*

A continuación, se muestra un esquema del funcionamiento del malacate que se encuentra dentro del Baritel de San Andrés.

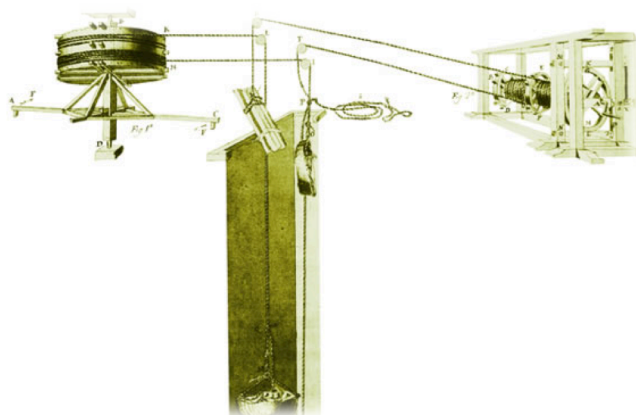


Figura 45: Esquema de funcionamiento de la maquinaria del malacate
 Fuente: www.parqueminerodealmaden.es

A unos kilómetros de Almadén, en un pequeño cerro en el valle de Alcudia, y a unos 88 km de la capital provincial (Ciudad Real), encontramos la vecina población minera de **Almadenejos**.

Posiblemente, la población se originó en una mina llamada Nuestra Señora de la Concepción que fue abandonada, y a partir de 1699 se retomó la explotación, constituyendo el pueblo a partir de esa fecha. Este descubrimiento se dio tras una crisis en las Minas de Almadén debido a la disminución de la producción de Mercurio, que en esa época era vital para la economía española, viéndose obligados a importar Mercurio de otros países para enviarlo a América. La mina de la Concepción de Almadenejos, llamada posteriormente Concepción Vieja, al descubrirse en 1779 un nuevo yacimiento que se llamó Mina de la Nueva Concepción, se estuvo explotando durante todo el siglo XVIII y su cierre se produjo en 1800.

Almadenejos está completamente rodeada por una muralla. La importancia que tuvo como antigua ciudad minera ha quedado plasmada en los restos de sus edificios industriales, sobresaliendo el Baritel de San Carlos, declarado Bien de Interés Cultural, y considerado como una joya de la arqueología industrial a nivel mundial. Este curioso edificio albergaba el malacate de caballerías para elevar el mineral a través del Pozo que lleva el mismo nombre de la Mina de la Concepción Nueva. Entre otras diferencias con el de Almadén, es que este último se encuentra en el interior, en la primera planta de las

minas. Su construcción data de los últimos años del siglo XVIII y los primeros del XIX, y su conservación es bastante buena. Tiene forma poligonal en el exterior, de 16 lados iguales, y circular en el interior, con 17 m de diámetro. Movido por tracción animal, el torno de su interior, que no se conserva, servía para introducir y extraer de la mina hombres y materiales.



Figura 46: Vista exterior del Baritel de San Carlos (Almadenejos)
Fuente: www.pueblos-espana.org



Figura 47: Vista interior del Baritel de San Carlos (Almadenejos)
Fuente: almadenysusrincones.com

Durante el gran incendio que ocurrió en la mina de Almadén entre los años 1755 y 1757, las labores de esta mina se intensificaron y al adquirir importancia las explotaciones, entre otros factores, se construyó la muralla que bordea al pueblo y el hospital de mineros, situado en la actual plaza de la Constitución. Otro de los factores por los que se construyó la muralla fue por tener ocupados a los trabajadores de la mina, ya que el incendio duró 30 meses, provocando muertes, hundimientos y una inundación general.

La importante actividad minera de Almadenejos en estos años quedaba reflejada en el camino que lo unía con Almadén, ya que era el mejor conservado de todos.

El Mercurio sufría un largo y laborioso empaque y transporte, desde su extracción hasta que llegaba a los mineros americanos: partía de Almadén hasta Sevilla, desde Sevilla hasta Cádiz y desde aquí a Indias. El envasado del azogue para América sólo se hacía en Almadén, y desde aquí se trasladaba a Sevilla por carreteros o arrieros. En Sevilla se volvía a empacar para enviarlo a América. En 1730 se fijó que el embalaje definitivo se hiciese en Almadén, puesto que era más económico y ocasionaba menos retrasos. El azogue se guardaba en baldeses, aunque después se buscaron otros contenedores más eficaces. Los pesos del azogue variaban según se hiciera en Almadén, Almadenejos o Sevilla. Para acabar con este problema se construyeron nuevas pesas para unificar la medida. El Mercurio se guardaba en pilas de piedra de granito, en tinajas de barro cocido y en baldeses de pieles de carnero. Todo esto se hacía en el cerco de buitrones, en donde los hornos eran fundamentales para destilar el Mercurio.

Los fraudes y robos de Mercurio fueron la causa de que los lugares donde se obtenía el azogue estuvieran fuertemente vigilados y rodeados de un muro. Mientras duraban las fundiciones todas las puertas del cerco debían estar abiertas, ya que por ellas entraban y salían todos los trabajadores: los que llevaban el mineral, los que sacaban las brasas, los cargadores, los descargadores,..., en total más de cien hombres.



Figura 48: Panorámica del Cerco de Buitrones (Almadenejos)

Fuente: www.almadenejos.es

El cerco tiene unos 3 m de altura, con mechinales repartidos por todo el muro. Tiene un total de siete puertas, todas ellas hechas en ladrillo. Todas están tapiadas, menos la puerta orientada al Oeste que sirve de acceso al interior. El tapiado de las puertas es antiguo, debió hacerse a principios del siglo XX cuando dejaron de utilizarse los hornos. Tras consultar documentación, se sabe que desde 1709 había dos pares de hornos en buitrones. En 1799 hay cuatro pares, en 1850 cinco pares y hasta se llegó a comentar la necesidad de construir seis pares en 1753. Actualmente, en el recinto existen seis pares. En todos los hornos faltan los caños o aludeles, pero se conservan bien los planos inclinados y en condiciones aceptables.

El almacén de empaque de azogue está situado al sur de los hornos, es de planta rectangular, dividida en dos naves por arcos. Tiene dos plantas separadas por vigas de madera, la cubierta es a dos aguas y presenta gruesos contrafuertes al exterior. Tenía un edificio anterior, hoy perdido, del que solo quedan los arranques de las vigas y el empedrado. El acceso se hacía mediante tres arcos, hoy tapiados y dos puertas laterales, todos en la fachada principal. En el interior, las naves están divididas por arcos y revestidas las paredes con cal.

Otros atractivos interesantes del pueblo minero de Almadenejos son: el Hospital de los Mineros, la Mina de la Concepción, la Iglesia de la Purísima Concepción, la Muralla del siglo XVIII, los hornos de extracción del Mercurio y la Fuente de Peñarroya.

7.3. El mercurio

7.3.1. Azogue, bermellón y cinabrio

El *Mercurio* o *azogue* y su mineral principal, el *cinabrio*, fueron conocidos y utilizados desde tiempos remotos. Por el desarrollo de sus primeras culturas, pueblos como China, Egipto y Siria conocían la existencia de al menos el cinabrio y su aplicación como pintura en forma de bermellón (polvo de cinabrio).

Existen referencias que aseguran que en China en las minas de Kwichan, hacia el año 1200 a.C., se extraía Mercurio. Los fenicios, 700 años antes de la era cristiana, lo

utilizaban para extraer y purificar el oro. En la India, existía la creencia de que el Mercurio tenía propiedades afrodisiacas y como tal fue utilizado en este país. Los Incas, ya conocían el cinabrio, al que denominaban *llampi*, y también lo utilizaron como pintura. El Mercurio fue empleado por los egipcios hacia la XVIII-XIX dinastía faraónica (1600 – 1500 años a.C.) como lo prueba el hecho de haber encontrado Mercurio líquido en una vasija funeraria de dicha época. Traducciones recientes de clásicos taoístas demuestran que los alquimistas chinos conocían bien el Mercurio y sabían obtenerlo a partir del cinabrio, mineral que era apreciado con especial reverencia porque consideraban que podía alargar la vida mejor que el oro. Los griegos y los romanos también utilizaron el cinabrio como pintura (bermellón) y algunos de sus más renombrados médicos, por ejemplo Hipócrates, lo utilizó en forma de ungüento por no considerarlo tóxico por vía dérmica.

El Mercurio fue mencionado ya con el nombre de *chytyos argyros* por Teofrasto (321 a.C.) en su Tratado de las Piedras, donde se dice que se le saca del cinabrio natural amasándolo con vinagre en un mortero de cobre con una mano del mismo metal. Otro método de obtención consiste en calentar el cinabrio en una vasija de hierro, indica Dioscórides (Siglo I d.C.) y llama al metal líquido condensado *hydrargyros*, de hydra, agua y argyros, plata. Vitrubio en su obra de Arquitectura menciona el Mercurio que se obtiene del cinabrio. Plinio describe el distrito minero de Almadén y, al hablar de las minas de España, dice que se encuentran en ella una piedra de la que siempre fluye un sudor que se llama *argentum vivum*, *mercurius vivus*, *hydrargyrum*. Isidoro de Sevilla, a principios del siglo VII, conoció la acción del solvente de Mercurio sobre otros metales y sus efectos nocivos sobre el organismo animal. Agrícola (1495-1555) consideró al Mercurio como un metal contra la opinión de la Edad Media que lo designaban como el componente hipotético de los cuerpos que se volatilizaban por efecto del calor. Braune, en San Petersburgo (1759), solidificando el Mercurio mediante ácido nítrico y nieve, demostró que poseía la única propiedad de verdadero metal sólido que hasta entonces le faltara.

Para evitar confusiones con idénticos nombres (metal, planeta y dioses) los griegos llamaron al metal *hidrargiro*, palabra introducida por Aristóteles o Teofrasto que significa plata líquida y los romanos, concretamente Dioscórides, latinizaron esta expresión en *hydrargyrum*, que quiere decir plata viva. De esta denominación proceden el símbolo Hg del Mercurio y el sustantivo **hidrargirismo**, intoxicación producida por el Mercurio vapor

o por algunos de sus compuestos. Posteriormente, los árabes utilizaron el término **azogue** que aún perdura en el lenguaje popular.

A partir de ahora se presentan los nombres del metal en Europa, Asia y África. El nombre actual del Mercurio se origina por correspondencia, ya que al ser el único metal que en condiciones normales puede fluir y correr, se asocia al dios romano que corría; Mercurio, el mensajero de los dioses que se representaba con alas en los pies. De su relación fundamental con el dios y planeta correspondiente, surgirá la voz francesa de *mercure*, el español *Mercurio*, el euskera *merkurioa*, el inglés *mercury*, el galés *mercwri* y el alemán *merkur*.

En las lenguas anglosajónicas existe otra denominación de este metal derivada en su significado del primitivo nombre que había usado Vitrubio, *argentum vivum*, así en viejo inglés fue *cwic seolfor*, después *quyksiluer*, *quykesyluer*, *quecsilbar* y *quecsilper*. En germánico *kwikzilber*, en viejo noruego *kviksilfr*, en sueco *qvicksilfver*, en danés *kviksölb*, en alemán actual, *quecksilber* (*queck/silber*), en holandés *kwikzilber*, y en inglés, *quicksilver*. En todas ellas el significado será, plata que corre, plata viva, rápida.

En japonés, el Mercurio deriva de la plata y se conoce como *su gin*, pero en cambio el cinabrio es *chén shá*, interpretándose como el enrojecimiento y azoramiento que experimenta la mujer cuando se atenta contra su intimidad, en clara relación con el significado de azogue y del pigmento rojo que mencionaba Plinio.

El **bermellón**, cuando se encuentra en la naturaleza, es un pigmento naranja rojizo opaco, usado desde la antigüedad, originalmente derivado del mineral cinabrio. Químicamente, el pigmento es sulfuro de Mercurio (HgS). Como todo compuesto de Mercurio, es tóxico.

En la actualidad, gran parte del bermellón es producido artificialmente por la reacción de Mercurio con azufre fundido. El bermellón obtenido naturalmente, pigmento tradicional del arte chino, viene del cinabrio de China, por lo que se conoce como “*rojo de China*”.

Como las fuentes de cinabrio puro son muy raras, el bermellón natural siempre ha sido extremadamente caro.

En pintura, el bermellón ha sido ampliamente reemplazado por el rojo de cadmio en ciertas aplicaciones como las acuarelas.

Hay evidencias del uso prehistórico del bermellón como pigmento en India y China; y en España, en las pinturas rupestres cercanas a Almadén, más concretamente en la Sierra de Cordoneros.

El bermellón también fue utilizado para colorear y preservar restos óseos humanos como lo atestigua el hallazgo realizado en el dolmen "La Velilla", en Osorno (Palencia, España) publicado por Martín-Gil J *et al* en 1994.

Las variedades mineralógicas del Mercurio son el **cinabrio** y el **metacinabrio**. El **cinabrio**, bermellón por su color como ya se sabe, también conocido como **cinabarita**, es un mineral de la clase de los sulfuros. Está compuesto en un 86,2% por Mercurio. En su simetría y caracteres ópticos presenta un parecido notable con el cuarzo. Como el cuarzo, exhibe una polarización circular, y Alfred Des Cloizeaux demostró que posee quince veces el poder rotativo del cuarzo. Su fórmula química es HgS (sulfuro de Mercurio), como se ha señalado ya.



Figura 49: Piedra de mineral cinabrio procedente de la mina vieja de Almadén, en el cerco de San Teodoro.

Fuente: www.mtiblog.com

Se acostumbra a encontrar en masas granulares compactas, a veces acompañado de otros sulfuros, como la antimonita (Sb_2S_3). Los cristales son raramente tabulares a romboédricos con maclas de penetración. Si es duro y compacto se denomina ***cinabrio de labra***, dado que en una época en Almadén eran talladas muchas figuras con esa variedad. Su brillo es adamantino, en agregados masivos exhibe un brillo mate a terroso. Exfoliación perfecta según las caras del prisma. Su fractura es astillosa. De tenacidad, blando. Diafanidad: translúcido.

Su génesis es hidrotermal de baja temperatura asociado con actividades volcánicas recientes. Su paragénesis¹⁰ con pirita (FeS_2), marcasita (FeS_2), estibina (SbH_3) y sulfuros de cobre, en gangas de ópalo ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), calcedonia (SiO_2), cuarzo (SiO_2), baritina (BaSO_4), calcita (CaCO_3), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) y fluorita (CaF_2).

Como se puede observar en la siguiente fotografía, en algunas ocasiones el cinabrio se presenta formando unos bellos cristales acompañado de algún otro mineral. Sin lugar a dudas, si su dureza hubiese sido similar a la del diamante, se trataría de una piedra preciosa que, como otras, hubiese encontrado aplicación en la joyería.



*Figura 50: Cristal de mineral cinabrio en dolomita
Fuente: elmodernoprometeo.blogspot.com.es*

¹⁰ Los minerales pueden formarse de manera y condiciones diferentes. Raras veces aparecen minerales aislados en la naturaleza, por lo general forman una agrupación característica de un determinado proceso de formación. A estos conjuntos se les denomina paragénesis (para = al lado de; génesis = formación). El conocimiento de la paragénesis de los minerales es importante, ya que permite prever la existencia de un determinado mineral o excluir la presencia de otros.

Se puede encontrar en todos los lugares que producen el Mercurio, especialmente en Almadén (Ciudad Real, España), así como en Lena (Asturias, España), Monte Amiata (Italia), Nuevo Almadén (California, EEUU), Idrija (Eslovenia), Landsberg, cerca de Ober-Moschel en el Palatinado, Ripa, al pie de los Alpes, Apuan (Toscana), las montañas Avala (Serbia), la Región Huancavelica (Perú), La Virginia Quindio (Colombia), Sierra Gorda en Queretaro (México) y la provincia de Kweichow en China, de donde fueron obtenidos muy finos cristales.

7.3.2. Características del metal y sus compuestos

Este metal, ha encontrado sus aplicaciones en los más diversos campos, incluso dentro de la agricultura. Sus aplicaciones han sido, además de numerosas e importantes, no tan perjudiciales como en ocasiones se ha querido vender. Entre los países que han producido mayor cantidad de Mercurio se encuentran España, Italia, la Unión Soviética y China. Los yacimientos más importantes de cinabrio se encuentran en Almadén (Ciudad Real), New Almadén en California (EEUU), Monte Amiata (Italia) e Idria (Eslovenia). Este tipo de yacimientos están en contacto con masas eruptivas y terrenos sedimentarios.

El químico francés Antoine Laurent de Lavoisier¹¹ lo identificó por primera vez como elemento durante sus investigaciones sobre la composición del aire.

¹¹(París, 1743 - id., 1794) Químico francés, padre de la química moderna. Antoine-Laurent de Lavoisier recibió una magnífica educación en el Collège Mazarino, en donde adquirió no sólo buenos fundamentos en materia científica, sino también una sólida formación humanística.

Lavoisier ingresó luego en la facultad de derecho de París, donde se graduó en 1764, por más que en esta época su actividad se orientó sobre todo hacia la investigación científica. En 1766 recibió la medalla de oro de la Academia de Ciencias francesa por un ensayo sobre el mejor método de alumbrado público para grandes poblaciones. Con el geólogo J.E. Guettard, confeccionó un atlas mineralógico de Francia. En 1768 presentó una serie de artículos sobre análisis de muestras de agua, y fue admitido en la Academia, de la que fue director en 1785 y tesorero en 1791.

Su esposa, Marie Paulze, con quien se casó en 1771, fue además su más estrecha colaboradora, e incluso tradujo al inglés los artículos redactados por su esposo. Un año antes, éste se había ganado una merecida reputación entre la comunidad científica de la época al demostrar la falsedad de la antigua idea, sostenida incluso por Robert Boyle, de que el agua podía ser convertida en tierra mediante sucesivas destilaciones.

La especulación acerca de la naturaleza de los cuatro elementos tradicionales (aire, agua, tierra y fuego) llevó a Lavoisier a emprender una serie de investigaciones sobre el papel desempeñado por el aire en las reacciones de combustión. Presentó a la Academia los resultados de su investigación en 1772, e hizo hincapié en el hecho de que cuando se queman el azufre o el fósforo, éstos ganan peso por absorber «aire», mientras que el plomo metálico formado tras calentar el plomo mineral lo pierde por haber perdido «aire».

Este elemento cuyo símbolo es **Hg**, pertenece al segundo grupo del sistema periódico de los elementos, segundo subgrupo. Su número atómico es 80, y su peso atómico es de 200,59 g/mol. Tiene siete isótopos estables. Es de color gris claro, como plateado y bastante brillante. Es el único metal líquido a temperatura ambiente. Es además muy volátil. Su dilatación es uniforme a cualquier temperatura.

El mercurio se clasifica en el 67º lugar en orden de abundancia de los elementos en la corteza terrestre. Se encuentra en estado libre en pequeñas cantidades oculto en grandes masas rocosas y combinado con la plata, pero la mayor parte se encuentra como mineral en el cinabrio (HgS).

A partir de los trabajos de Priestley, acertó a distinguir entre un «aire» que no se combina tras la combustión o calcinación (el nitrógeno) y otro que sí lo hace, al que denominó oxígeno (productor de ácido).

Los resultados cuantitativos y demás evidencias que obtuvo Lavoisier se oponían a la teoría del flogisto, aceptada incluso por Priestley, según la cual una sustancia hipotética –el flogisto– era la que se liberaba o se adquiría en los procesos de combustión de las sustancias. Lavoisier publicó en 1786 una brillante refutación de dicha teoría, que logró persuadir a gran parte de la comunidad científica del momento, en especial la francesa; en 1787 se publicó el *Méthode de nomenclature chimique*, bajo la influencia de las ideas de Lavoisier, en el que se clasificaron y denominaron los elementos y compuestos entonces conocidos.

En 1789, en colaboración con otros científicos fundó *Annales de Chimie*, publicación monográfica dedicada a la nueva química. La expansión de la doctrina defendida por Lavoisier se vio favorecida con la publicación en 1789 de su obra *Tratado elemental de química*. De este libro, que contiene una concisa exposición de su labor, cabe destacar la formulación de un primer enunciado de la ley de la conservación de la materia.

También efectuó investigaciones sobre la fermentación y sobre la respiración animal. De los resultados obtenidos tras estudiar el intercambio de gases durante el proceso de respiración, en una serie de experimentos pioneros en el campo de la bioquímica, concluyó que la respiración es un tipo de reacción de oxidación similar a la combustión del carbón, con lo cual se anticipó a las posteriores explicaciones del proceso cíclico de la vida animal y vegetal.

Lavoisier fue asimismo un destacado personaje de la sociedad francesa de su tiempo. De ideas moderadas, desempeñó numerosos cargos públicos en la Administración del Estado, si bien su adhesión al impopular *Ferme Générale* le supuso la enemistad con el revolucionario Marat. Un año después del inicio del Terror, en mayo de 1794, tras un juicio de tan sólo unas horas, un tribunal revolucionario lo condenó a la guillotina.

GRUPO

PERIODO

NÚMERO DE GRUPO RECOMENDACIÓN DA IUPAC (1985)

NÚMERO DE GRUPO CHEMICAL ABSTRACT SERVICE (1986)

NÚMERO ATÓMICO

SÍMBOLO

MAZA ATÓMICA RELATIVA (1)

NOMBRE DEL ELEMENTO

Copyright © 2012 Eri Generali

LANTÁNIDOS

ACTÍNIDOS

Figura 51: Tabla Periódica de los elementos

Fuente: www.quimicafisica.com

80	200,59
	1,2
357	
-38,4	
16,6	
	Hg
	(Xe)4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²
	Mercurio

Figura 52 : Tabla periódica del Mercurio

Fuente: mediateca.educa.madrid.org

En la siguiente tabla se muestran las características generales y propiedades de dicho elemento:

Tabla II: Características y propiedades del Mercurio

Fuente: Elaboración propia

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
Nombre: Mercurio	Símbolo: Hg
Número atómico: 80	Masa atómica (uma): 200,59
Período: 6	Grupo: IIB (transición)
Bloque: d (no representativo)	Valencias: +1, +2
PROPIEDADES PERIÓDICAS	
Configuración electrónica: [Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²	Radio atómico (Å): 1,55
Radio iónico (Å): 1,10 (+2)	Radio covalente (Å): 1,49
Energía de ionización (kJ/mol): 1007	Electronegatividad: 2,00
Afinidad electrónica (kJ/mol): -	
PROPIEDADES FÍSICAS	
Densidad (g/cm ³): 13,546	Color: Blanco plateado
Punto de fusión (°C): -39	Punto de ebullición (°C): 357
Volumen atómico (cm ³ /mol): 14,81	

Es muy difícil que le afecten los ácidos minerales. Se trata de un buen conductor de la electricidad y tiene un elevado coeficiente de dilatación térmica. Su resistividad es de 0,957 mm²/m, pero a -268,88 °C desaparece súbitamente su resistencia. La dilatación térmica del Mercurio es relativamente elevada, y entre 0 y 100 °C se aproxima a la correspondiente a un gas.

Si es sometido a una presión de 7.640 atmósferas (5.800.000 mm Hg) se transforma en sólido, habiéndose elegido esta presión como medida tipo para presiones extremadamente altas.

La tensión superficial del Mercurio líquido es 505 dinas/cm², es decir, 6 veces más que la del agua en contacto con el aire, por eso que el Mercurio no moja la superficie con

las que entra en contacto. El Mercurio metálico no se oxida con el aire seco, sin embargo, después de permanecer largo tiempo expuesto al aire húmedo, el metal se recubre de una delgada capa de óxido.

El metal no se disuelve en ácido sulfúrico diluido, por el contrario es disuelto por los ácidos oxidantes¹² (ácido nítrico, ácido sulfúrico concentrado, agua regia), pero es resistente a los álcalis. Con el sulfuro de sodio también se disuelve. Reacciona con mucha facilidad con el cloro y algunos halógenos, se combina fácilmente con el azufre cuando se muele junto a él, formando sulfuro de Mercurio negro.

El Mercurio ocurre naturalmente en el ambiente y existe en varias formas. Estas formas se pueden clasificar en tres tipos: *Mercurio metálico* (llamado también Mercurio elemental), *Mercurio inorgánico* y *Mercurio orgánico*.

El *Mercurio metálico* es la forma elemental o la forma pura de Mercurio (no está combinado con otros elementos). Es el típico líquido metálico usado en termómetros y en algunos interruptores eléctricos. A temperatura ambiente, alguna cantidad de Mercurio metálico se evaporará al aire y formará vapores de Mercurio. Los vapores de Mercurio son incoloros e inodoros. Mientras más alta es la temperatura, más vapores se liberarán del Mercurio metálico líquido. Algunas personas que han respirado vapores de Mercurio han descrito un sabor metálico en la boca. El Mercurio metal (Hg), no es fácilmente absorbido por el cuerpo, dada su difícil disolución, y es excretado por vía renal. Solo en el caso de una gran ingestión de Mercurio este sería peligroso para el organismo, ya que puede producir la muerte del tejido renal.

Los compuestos de *Mercurio inorgánico* se producen cuando el Mercurio se combina con elementos tales como el cloro, azufre u oxígeno. Estos compuestos de Mercurio se llaman *sales de Mercurio*. La mayoría de los compuestos de Mercurio inorgánico son polvos blancos o cristales, excepto el sulfuro de Mercurio (cinabrio), que es de color rojo y se vuelve negro por exposición a la luz.

¹² Un agente oxidante o comburente es un compuesto químico que oxida a otra sustancia en reacciones electroquímicas o de reducción-oxidación. En estas reacciones, el compuesto oxidante se reduce, es decir, gana electrones.

El Mercurio en su forma inorgánica existe en la naturaleza en tres estados de oxidación:

- ✓ Hg^0 (metálico)
- ✓ Hg^{1+} (mercurioso)
- ✓ Hg^{2+} (mercúrico)

Los estados mercurioso y mercúrico pueden formar numerosos compuestos químicos tanto orgánicos como inorgánicos.

El *Mercurio orgánico* son aquellas formas orgánicas en las que el Mercurio está unido covalentemente¹³ a, al menos, un átomo de carbono. Cuando el Mercurio se combina con carbono, los compuestos que se forman se llaman compuestos de Mercurio orgánico u organomercuriales. Hay potencialmente un gran número de compuestos de Mercurio orgánico:

- ✓ Metilmercurio ($[\text{CH}_3\text{Hg}]^+$)
- ✓ Dimetilmercurio ($\text{Hg}(\text{CH}_3)_2$)
- ✓ Etilmercurio ($\text{Hg}[\text{CH}_2\text{-CH}_3]^+$)
- ✓ Fenilmercúricos
- ✓ ...

El más común en el ambiente es el *metilmercurio* ($[\text{CH}_3\text{Hg}]^+$) (llamado también *monometilmercurio*), que es el compuesto de Mercurio orgánico más común no generado por la actividad humana pero que sí generan los microorganismos y los procesos naturales a partir de otras formas. Destaca también por su toxicidad el *dimetilmercurio*, ($\text{Hg}(\text{CH}_3)_2$). Este compuesto es una de las neurotoxinas¹⁴ más potentes conocidas. Se concentra selectivamente en el tejido del sistema nervioso y también en las células sanguíneas. Tristemente famoso es el envenenamiento por *metilmercurio* ocurrido en la

¹³ El enlace covalente se presenta cuando dos átomos comparten electrones para estabilizar la unión.

¹⁴ Las neurotoxinas son una clase extensa de sustancias químicas exógenas neurológicamente dañinas que pueden causar efectos adversos en la función tanto del tejido nervioso en desarrollo como en el maduro.

bahía de Minamata en Japón¹⁵, donde la irresponsable mano del hombre fue la causa. Hasta la década de los años 70, los compuestos de *metilmercurio* y *etilmercurio* se usaron para proteger las semillas de granos contra infecciones de hongos. Una vez que se conocieron los efectos adversos del *metilmercurio*, el uso de estos compuestos como fungicidas se prohibió. Hasta el año 1991, los compuestos *fenilmercúricos* se usaron como fungicidas en pinturas, tanto para el interior como el exterior, pero este uso también se prohibió debido a la liberación de vapores de Mercurio desde las pinturas.

La contribución global de las fuentes geológicas a la atmósfera se ha estimado en unas 34.865 t/año, de las que la mayor parte (21.000 t), procede de la evaporación de los océanos. El conjunto supone una cantidad en el ambiente en ningún modo peligrosa para la supervivencia de cualquier forma de vida; no obstante y localmente, como ocurre con lo emitido por los volcanes (1.290 t/año), puede constituir un peligro.

El Mercurio es emitido a la atmósfera en forma de vapor elemental (Hg^0), en donde se transforma a una forma soluble, probablemente Hg^{2+} y de donde retorna a la tierra con el agua de lluvia en una concentración de $2 \cdot 10^{-9}$ g/l para dar origen a una concentración en la troposfera de $2 \cdot 10^{-12}$ g/l, en los océanos de $2 \cdot 10^{-9}$ g/l, y finalmente, de $20 \cdot 10^{-6}$ g/kg en los sedimentos marinos. El tiempo de residencia en la atmósfera del vapor de Mercurio es de hasta 3 años mientras que el de las formas solubles es solamente de unas pocas semanas. El cambio de especiación del Mercurio de inorgánico a orgánico (*metilmercurio*, principalmente) es el primer paso en el proceso de bioacumulación acuática. El *metilmercurio* formado entra en la cadena alimentaria de las especies depredadoras en las que es acumulado tanto más cuanto mayor sea el peso y más larga la vida del organismo marino correspondiente.

El Mercurio aportado al ciclo anterior por las actividades del hombre es un orden de magnitud inferior al aportado por causas naturales, y mucho mayor en los países industrializados del hemisferio Norte que en los del Sur, sin embargo, puede comportar un elevado riesgo de toxicidad en áreas confinadas donde se desarrolla la correspondiente actividad.

¹⁵ Durante décadas (aproximadamente de 1930 a 1960), una compañía desechó toneladas de Mercurio en dicha bahía lo que causó el envenenamiento de miles de personas que vivían en sus proximidades, causándoles severos daños neurológicos que se ponían de manifiesto con síntomas como: sensación de hormigueo, debilidad muscular, comportamiento anormal.

Las principales actividades que lo producen son la propia minería del Mercurio, la combustión de combustibles fósiles, petróleo, gas natural, carbón en las centrales térmicas y eléctricas, procesos metalúrgicos, metales y ácido sulfúrico, industria de cloro-álcali, incineración de residuos urbanos y, en menor cantidad, refinado de oro y producción de cemento.

La minería de Mercurio representaba unas 10.000 t/año, aunque esta cifra varía considerablemente de año en año, y supone una descarga directa a la atmósfera del orden de 250 t/año. En las plantas metalúrgicas, los concentrados de sulfuros contienen una media de 100-300 ppm de Hg, lo que anualmente supone unas 2.000 t.

El Mercurio, presente en los concentrados como HgS, se volatiliza como Mercurio vapor en la fase gas de SO₂ con una concentración entre 40 y 80 ppm. Si el SO₂ es convertido en ácido en la industria del sulfúrico, puede constituir un riesgo aún mayor porque puede entrar en la industria de los fertilizantes formando parte de la cadena alimentaria, no ya como Mercurio metálico, sino cuando menos en forma inorgánica, y más probablemente, en orgánica, aumentando hasta 100 veces su toxicidad.

El envenenamiento por Mercurio elemental o inorgánico resulta generalmente de la exposición industrial, mientras que la intoxicación por Mercurio orgánico, que es más tóxico, se produce por el consumo de ciertos alimentos y el uso y/o exposición a elementos industriales contaminados.

Los síntomas del envenenamiento por Mercurio pueden afectar al nivel de comportamiento, así como a las funciones cognitivas del individuo, haciendo difícil el diagnóstico etimológico y requiriendo el uso de biomarcadores específicos como una herramienta de diagnóstico.

En el ámbito profesional, el contacto con el vapor metálico Hg se produce principalmente a través de los pulmones por inhalación. Hasta el 80% de los vapores de Hg puede entrar en el flujo de sangre directamente a través de los pulmones y es rápidamente distribuido por todo el organismo, principalmente en el cerebro y los riñones, donde puede permanecer durante semanas o meses. Los vapores de Hg

elemental penetran en el cuerpo más fácilmente y rápidamente que el Hg inorgánico, con muy poca absorción por el tracto gastrointestinal (menos de 0,01%), el cual es eliminado principalmente por la orina y, en pocas cantidades, a través de las heces.

La intoxicación crónica es la forma más frecuente de intoxicación en el ambiente de trabajo, que constituye lo que se conoce como *hidrargirismo* o *mercurialismo*. Está relacionado con el tiempo de exposición y la concentración de los vapores de Hg, lo que se refleja con síntomas clínicos insidiosos y no específicos, por lo que se hace difícil un diagnóstico a tiempo. Varios estudios han sido capaces de definir tres principales síndromes clínicos: la estomatitis mercurial, eretismo mercurial y temblor mercurial. Este último síndrome es el síntoma característico de la intoxicación crónica por mercurio. Por lo general, comienza con temblores finos de la lengua, labios, párpados y dedos. Más tarde, se extiende a las manos como un temblor rítmico interrumpido por contracciones musculares súbitas. También puede ocurrir en la cara, produciendo contracciones. Se aumenta con la estimulación y tiende a ser intencional, distinguiéndola de temblores parkinsoniano, que desaparecen durante el sueño. En situaciones de exposición crónica se han descrito casos de alopecia y son siempre reversibles una vez que la exposición se detiene.

Durante esta investigación, se observó que los síntomas del micro-mercurialismo ocurrieron con mayor frecuencia en los trabajadores de las minas de Almadén expuestos a bajos niveles de vapores de Hg. La sintomatología observada fue: predominantemente fasciculaciones¹⁶ en los miembros superiores, sensación de pesadez en las extremidades inferiores, síntomas vegetativos, abundante transpiración, dermatografismo¹⁷, inestabilidad emocional, neurosis secretora del estómago y neurosis funcional (histeria, neurastenia). Para su detección, no es un criterio casi unánime que consiste en el uso de los niveles de Hg en sangre y orina. La información existente, con respecto al contenido de Hg en fluidos biológicos, es inconsistente y varía en gran medida, y establece criterios muy diferentes en función de las diferentes fuentes consultadas.

¹⁶ Las fasciculaciones son pequeñas e involuntarias contracciones musculares, visibles bajo la piel y que no producen movimiento de miembros, debidas a descargas nerviosas espontáneas en grupos de fibras musculares esqueléticas. Normalmente son totalmente benignas, pero pueden estar provocadas por patologías neurológicas que sí pueden ser graves.

¹⁷ El dermatografismo es una forma de urticaria física o producida por agentes físicos, que no sigue el trayecto de las líneas de Blaschko ni de un dermatoma. En el dermatografismo, la aplicación de una presión sobre la piel produce vasoconstricción seguida de picor, eritema e inflamación lineal.

Por otro lado, la industria de cloro-álcali que obtiene cloro por electrólisis de salmuera, emplea cátodos móviles de Mercurio para evitar la mezcla de productos. Cada celda puede requerir una carga inicial de Mercurio de 450 kg por tonelada diaria de cloro producido, que es arrastrado por las corrientes de hidrógeno en una cuantía dependiente de la temperatura de los gases de salida, constituyendo uno de los mayores riesgos de envenenamiento ocupacional de todas las aplicaciones del Mercurio.

Respecto a los combustibles fósiles, decir que el gas natural¹⁸ lleva trazas de Mercurio metálico con contenidos entre 0,005 y 300 ppb dependiendo de su origen. El Mercurio puede ser un problema en la licuefacción¹⁹ del gas natural no solo por afectar por amalgamación a las partes móviles de los equipos, sino por el efecto sobre los catalizadores empleados en la licuefacción, mezclas de óxidos, en especial de molibdeno. El petróleo, que presenta contenidos de hasta 200 ppb de Mercurio, ocasiona una emisión adicional de hasta 730 t/año.

El contenido de Hg en el carbón varía entre límites muy amplios: en España alcanza hasta 200 ppb. La combustión y la gasificación del carbón son causas muy importantes de emisión y la minimización de esa emisión requiere un conocimiento previo de su especiación en los gases de salida.

En condiciones reductoras, la forma más estable termodinámicamente es el Mercurio elemental (Hg^0) en las regiones de temperatura más alta de los quemadores, pero con temperaturas decrecientes reacciona para formar compuestos en la forma Hg^{2+} que se retienen más fácilmente en los scrubbers²⁰ por ser más solubles en agua.

En las incineradoras, los metales con tensión de vapor baja se quedan retenidos en las escorias y algo en los precipitadores electrostáticos; pero los más volátiles, Cadmio (Cd) y Arsénico (As) además del Mercurio son emitidos en los gases de salida. De entre

¹⁸ El gas natural es una de las varias e importantes fuentes de energía no renovables formada por una mezcla de gases ligeros que se encuentra en yacimientos de petróleo, disuelto o asociado con el petróleo (acumulación de plancton marino) o en depósitos de carbón.

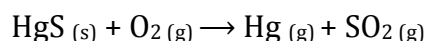
¹⁹ Licuefacción o licuación de los gases es el cambio de estado que ocurre cuando una sustancia pasa del estado gaseoso al líquido, por disminución de la temperatura y el aumento de presión, llegando a una sobrepresión elevada, hecho que diferencia a la licuefacción de la condensación.

²⁰ Sistemas de depuración del aire que se puede utilizar para eliminar algunas partículas y/o gases de escape de las corrientes de la industria.

ellos, el más peligroso por su elevada incidencia es el Mercurio, que forma parte de las basuras sólidas en una proporción entre 0,7-1,9 ppm en USA y entre 2-7 ppm en Europa.

El hombre, además de en la industria de cloro-álcali, por utilizar el Mercurio en una serie de aplicaciones muy diversas como aparatos eléctricos, pinturas antimoho, instrumentación analítica y de laboratorio, preparaciones dentales, fungicidas, especialidades farmacéuticas, catalizadores, etc., supone un consumo de unas 200 t/año con sus correspondientes implicaciones como pérdida por degradación e incorporación al ciclo ambiental.

El tratamiento metalúrgico del cinabrio para la obtención del Mercurio es muy simple y se basa en la tostación del mineral, que se descompone liberando vapores del elemento que se condensan, enfrían y depuran en distinto grado para su comercialización. Para obtener el Mercurio a partir de cinabrio, el proceso resulta muy sencillo porque solamente se requiere la calcinación de la mena que se descompone liberando el metal:



Además, el proceso no requiere temperaturas excesivamente altas, puesto que la reacción se desarrolla en el rango de 250-300 °C, lo que hace que la tecnología necesaria para la obtención metalúrgica del elemento sea muy simple. Sin embargo, durante la misma se produce una importante liberación de vapor de Mercurio, lo que disminuye la efectividad del proceso y se traduce en la emisión de estos vapores al medio ambiente.

De esta forma, la metalurgia en el Distrito ha ido evolucionando desde técnicas artesanales, poco efectivas y muy contaminantes, hasta el procesado en hornos de propano de alta capacidad con sistema de recogida de gases para la condensación del Mercurio metálico como son los hornos que ocupan nuestro estudio, los Pacific-Herreshoff y que además fueron los último hornos que estuvieron en funcionamiento hasta el cierre de las Minas de Almadén en 2003.



*Figura 53: Hornos de metalurgia Pacific.
Fuente: www.panoramio.com*

Otro problema que presenta el proceso es la emisión de SO_2 debido a la oxidación del azufre liberado durante la calcinación y que se agudiza cuando se procesa mineral procedente de los yacimientos en los que el cinabrio se encuentra combinado con pirita (FeS_2), cuyo contenido en azufre es del 50% aproximadamente, frente al 13% del contenido del mismo en el cinabrio, lo que obligó en su última etapa a instalar un sistema de desulfuración de los gases de la metalurgia.

Por su parte, el Mercurio producido se comercializa en su casi totalidad en forma metálica en los famosos frascos, si bien durante algunos años (1990-2000) se comercializó también en forma de óxidos: óxido rojo y óxido amarillo.



Figura 54: Distintos modelos de frascos, unidad internacional de comercialización del Mercurio (34,5 kg Hg)

Fuente: www.gabrielbernat.es

Para la formación de compuestos, decir que se combina directamente con el azufre (S) y con los halógenos (flúor (F), cloro (Cl), bromo (Br) y yodo (I)), dejando libre la mayor parte de los metales, a excepción del hierro (Fe), cobalto (Co), níquel (Ni), molibdeno (Mo) y tungsteno (W), con los que forma disoluciones características como las conocidas amalgamas.

El *cloruro mercurioso* (HgCl) (o calomelano) es una sustancia blanca, insoluble en el agua y alterable a la luz. Se utiliza en medicina como desinfectante intestinal y en forma de pomadas para tratar enfermedades de la piel. Se usa también para electrodos. Antes era empleado como purgante. Por otra parte, el *cloruro mercúrico* (HgCl_2) (o sublimado

corrosivo) se presenta en forma de cristales blancos y solubles en agua. Es muy venenoso y se emplea como antiséptico, para preparar derivados mercurícos, en el estampado de tejidos, en electricidad y para conservar la madera.

Otro de los compuestos es el *yoduro mercuríco*, de color rojo, pero se transforma en amarillo por calentamiento. Se usa en la investigación de trazas pequeñísimas de amoníaco en el agua, sirviendo también para preparar el reactivo de Nessler²¹.

El *fulminato de mercurio* o *fulminante* es un polvo cristalino pardo-oscuro que cuando está seco explota al más ligero choque. Se utiliza para la preparación de mezclas detonantes, en la metalurgia del oro y de la plata, como catalizador en muchas reacciones orgánicas, en los aparatos científicos (termómetros, barómetros...), para la preparación de amalgamas y en la construcción de lámparas con vapor de Mercurio.

El *mercurocromo* o *mertiolate*, que se usa en medicina, o el *sulfuro de mercurio (II)* que es un antiséptico común también utilizado en pintura para obtener el color bermellón.

7.4. Hornos Metalúrgicos en las Minas de Almadén

7.4.1. Generalidades

Trataremos de hacer una presentación de los distintos tipos de hornos partiendo de los hornos de Xabecas que se utilizaron en las Minas de Almadén.

Recordemos que para la obtención del mercurio se recurre a la explotación minera del cinabrio y su tratamiento, puesto que el mercurio en estado nativo es raro e insuficiente para atender las necesidades de mercado, como ya se comentó.

²¹ Consiste en una solución 0,09 M de tetrayodomercuriato (II) de potasio ($K_2[HgI_4]$) en una solución 2,5 M de hidróxido de potasio (KOH). Es usado para detectar pequeñas cantidades de amoníaco (H_3N) o catión amonio (H_4N^+). En presencia de amoníaco o catión amonio, toma coloración amarilla-naranja y en grandes concentraciones se forma un precipitado color naranja.

El cinabrio es un sulfuro de mercurio; una mena que contiene como mineral útil el mercurio, junto con estériles u otras sustancias de valor que precisa de una manipulación para obtener este metal. El procedimiento al que se somete consta de dos partes: la preparación mecánica de la mena y la destilación.

La **preparación mecánica** consta de varias operaciones cuyo objeto es la separación de la ganga (materias estériles) aislando los elementos útiles que presenta el criadero. Mediante aparatos accionados por motores mecánicos, el mineral extraído de las minas se quebranta, se divide por tamaños. Los resultados son la clasificación de los productos, según su naturaleza y calibre, la separación y concentración de la parte útil (cinabrio), facilitando así el tratamiento de los minerales en la fábrica metalúrgica, y es aquí donde entran en juego los hornos.

A continuación, se procede a la **calcinación del cinabrio**. Puesto que el cinabrio es un sulfuro de mercurio, junto a éste está presente el azufre. Así, mediante la destilación y basándose en la cualidad volátil del mercurio, se obtiene este metal: el cinabrio es tostado, desprendiendo vapor de mercurio que después se condensa y recoge bajo forma líquida, separándose del dióxido de azufre (SO₂).

Existen dos tipos de procedimientos para efectuar tal descomposición en vapor mercurial y dióxido de azufre:

- La que se sirve de la acción química de la cal (empleada como fundente, para ayudar a la oxidación del azufre): sólo comprende un método que requiere la destilación en retortas (cilindros de hierro fundido, también llamados muflas) aplicándose a cantidades pequeñas de mineral rico o a residuos procedentes del tratamiento de minerales en hornos. Se ha empleado con frecuencia en la historia, ya fuera como sistema principal o como método auxiliar en el tratamiento, pero apenas posee interés técnico (no evoluciona), constructivo (por su extrema sencillez) ni económico.
- La que aprovecha la acción reactiva del oxígeno del aire atmosférico: reúne los diferentes modelos de hornos de destilación que evolucionan a lo largo de la historia para un mejor aprovechamiento del mineral y un ahorro de costes

(combustible, mineral, construcción). En este caso, la base es la acción reactiva del oxígeno del aire atmosférico, que provoca la descomposición del mineral y permite la obtención del vapor mercurial.

Como se comentó al principio de este apartado, pasaremos a enumerar los hornos utilizados en las Minas de Almadén.

7.4.2. Hornos de Xabecas

Ocupan el largo periodo de tiempo de la historia de las Minas de Almadén que transcurre entre el siglo IX y el siglo XVI, y casi con seguridad, hasta el primer tercio del siglo XVII. Fueron poco a poco reemplazados por hornos de reverberación hacia 1573 al no dar éstas abasto y coincidiendo con el comienzo de la gestión de los Fuggars alemanes, Marcos y Cristóbal, que comenzó en 1525 y finalizó en 1645.

A pesar de la producción pequeña de mercurio, la gran cantidad de pérdidas y el alto consumo de combustible (leña de las dehesas colindantes), estos hornos de xabecas perduraron en Almadén durante varios siglos, llegando incluso a ser exportada esta tecnología a las minas de Huancavelica (Perú) en 1596, hasta la aparición de los **hornos de aludeles** de manos de Lope Saavedra Barba en 1633.

Hoy no quedan apenas vestigios de los hornos árabes, sólo las numerosas ollas de xabecas que podemos ver en los museos de Almadén.

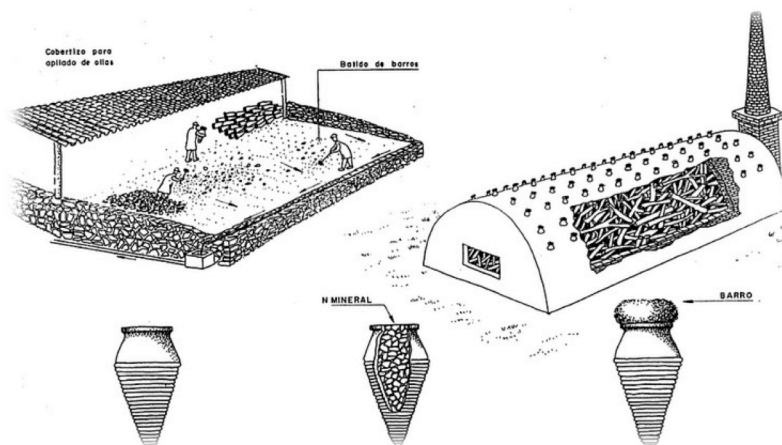


Figura 55: Hornos de Xabecas
Fuente: De La Cruz Gómez (1995)

7.4.3. Hornos de Reverbero

Sucedieron a los de xabecas y fueron introducidos por los alemanes, si bien solo se emplearon para la cochura de ollas llenas de cinabrio sin llegar a realizar en ellos la tostación del mineral directamente. Introducidos a principios del siglo XVI, su uso se extendió hasta mediados del siglo siguiente. Llegaron a contarse hasta veinticuatro ejemplares de estos hornos: dos grandes, doce medianos y diez pequeños.

Se trataba de hornos contruidos de ladrillo y barro donde se cocía el cinabrio en **ollas de reverbero**. La bóveda del horno era de media naranja o semiesférica y, debajo de ella, la red que estaba colocada sobre la caldera.

El suelo del horno tenía una ligera pendiente hacia el centro, y es ahí donde se depositaba el mercurio al igual que en el fondo de las ollas.

Para recoger el mercurio condensado tanto en las ollas como en el propio suelo del horno, los operarios tenían que meterse en su interior y, por tanto, resultaba inevitable el tener que respirar los vapores mercuriales. Esto provocaba el *azogamiento*.

Para Luis de Escosura²² estos nuevos hornos no son más que una modificación de los antiguos hornos de xabecas con influencias germánicas.

²² Luis de la Escosura y Morrogh (Madrid, 15 de septiembre de 1829 - 6 de junio de 1904), ingeniero de minas, químico e historiador español, hermano del escritor del Romanticismo Patricio de la Escosura y del periodista Narciso de la Escosura.

Hijo del historiador y académico Jerónimo de la Escosura y López de Porto y de Ana Morrogh Wolcott, fue Inspector general del Cuerpo de Ingenieros de Minas, Director de la Escuela Especial del mismo Cuerpo y Profesor en ella de Química Analítica y de Docimasia, Presidente de la Junta Superior Consultiva Facultativa de Minería, Senador del reino y autor de obras científicas y de trabajos químicos especiales. Fue elegido el 11 de febrero de 1867 miembro de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid con un discurso sobre "Límites del análisis químico" y tomó posesión el 4 de julio de 1869. Fue redactor de la Revista Minera creada en 1850 y de larga trayectoria.

Experto en ingeniería hidráulica, construyó diversas fuentes en Toledo y Ciudad Real, y, examinando los papeles manuscritos del ingeniero italiano Juanelo Turriano y comparándolos con los tratados italianos de la época y varias fuentes literarias del Siglo de Oro (Cervantes, José de Valdivielso, Lope de Vega, Luis Quiñones de Benavente, Francisco de Quevedo), consiguió aclarar la descripción que dio Morales del llamado Artificio de Juanelo o mecanismo hidráulico que servía para levantar el agua del Tajo hasta la ciudad de Toledo.

La desaparición de estos hornos en Almadén vino de la mano de la finalización del arrendamiento de las minas a los alemanes en 1645, lo que les dio una vida superior a los ochenta años.

7.4.4. Hornos de Aludeles o de Bustamante

Introducidos en Almadén por Bustamante²³ en 1646, van a ocupar un papel vital en el beneficio del azogue, no sólo en América, sino también en Europa, ya que además de en las Minas de Almadén y Almadenejos y otras de España como las de Asturias, Badajoz, Granada, etc., también se exportaron a algunas regiones de Italia y a la ciudad de Idria en 1750, concretamente a esta última, aunque con algunas modificaciones.

En el siglo XVIII se contaba en principio con 6 pares de hornos de Bustamante, a los que se sumaron dos pares más, por tanto, 8 pares en total. Esto es conocido gracias a las memorias de Agustín de Betancourt y Molina. Los primeros hornos eran los de San Pedro y San Pablo, Nuestra Señora de Atocha y Nuestra Señora de la Almudena, San Antonio y Santo Domingo, San Miguel y San Benito, San Fermín y San Francisco, San Eugenio y San Julián y, posteriormente, dos pares más, San Carlos y San Sebastián, Santa Cruz y Santos Reyes. De estos hornos, San Eugenio y San Julián son los que se han conservado hasta nuestros días. Llegaron a ser un total de 9 hornos en apenas dos años.

En 1750 en Idria (Eslovenia) implantan los hornos de aludeles, que por diversas complicaciones, se vieron modificados dando lugar a los hornos de Idria, similares a los de Hähner.

²³ Juan Alonso de Bustamante, Técnico de minas que surge en Huancavelica, Perú, en 1647. Se ha apuntado que Bustamante pudo ser originario de Huancavelica, donde habría tenido ocasión de conocer los hornos inventados por Lope de Saavedra Barba para la obtención del mercurio metálico, por su demostrada vinculación con las importantes minas allí ubicadas. Se señala que hacia 1642 llegó a España acompañado del también experto Diego de Sotomayor y Valdenebro; visitaron ambos las minas de Almadén y en un Memorial se prestaron a mejorar los procedimientos al uso. Bustamante no se presentó como introductor del nuevo método sino como autor de la invención, por lo que, efectuadas con éxito en 1646 y 1647 las demostraciones que se le exigieron, fue objeto de grandes honores. Dos años más tarde, el Consejo de Indias puso de manifiesto el verdadero alcance de la intervención de Bustamante, al oponerse al nombramiento de éste para ocupar un alto cargo en América; no obstante, en Europa los hornos "busconiles" siguieron conociéndose como "hornos de Bustamante" y el procedimiento, como "método de Almadén".

En el último cuarto del siglo XIX están datados un par de hornos de aludeles en Asturias. Se supuso que se amoldaría mejor al mineral mierense además del bajo coste de su instalación. En 1874 será Alejandro Van Straalen y Urlinos quien construya uno en Brañalamosa (Lena), que suponemos se corresponderá con el de la fábrica y mina de La Concordia.

Intentos Fracasados

Conde D. Juan Bernardino Tetoni

En agosto de 1725, presentó una serie de memorias a la Superintendencia General de Azogues para incrementar las producciones del metal al doble para la misma cantidad de mineral y con menor gasto. Mediante Real Cédula de 8 de enero de 1727, se dispuso que el conde se trasladase a Almadén, y el 10 de noviembre del mismo año ya tenía acabado su horno, el cual supuso un gran fracaso. Se le formó expediente y fue encarcelado.

Juan Fernández Cadórniga y Chacón

Ofreció sacar en el caso de que Tetoni no pudiera cumplir su pacto, el doble de producción que el italiano. Se aceptó dicha proposición por Real Cédula de 10 de diciembre de 1733 y se construyó un horno dónde se haría la prueba, pero en 10 años, sólo fue capaz de llevar a cabo tres hornadas, siendo el azogue conseguido menor que el de la Real Hacienda. Pero a principios de 1743, Cadórniga pidió que se le nombrara veedor general de las minas por haber gastado 8.000 pesos en experimentos, por llevar 27 años como pagador de las minas y haber ocupado su padre cargos políticos y militares por más de 40 años. Sus pretensiones no fueron reconocidas.

Diego de Orlando

En 1735 se ofreció a su Majestad para conseguir aumentar la producción. Se le concedió un par de ensayos al igual que al anterior, y el plazo de dieciocho meses para ponerla en práctica, pero no se tiene constancia de que la experiencia se realizara.

Alonso Cortés

El 9 de agosto de 1736 propuso a la Superintendencia General de Azogues realizar una serie de experimentos por cuenta propia con el objetivo de paliar las pérdidas de azogue que se producía en aquella época en los hornos de aludeles. El proyecto consistía en sustituir los caños ovalados (aludeles) por unas cañerías de ladrillo de canal. Con esta instalación permanente pretendía eliminar el gran gasto que suponían los caños, y en teoría, se produciría más azogue. Hasta el 15 de mayo de 1737 no fue cuando se dio la orden.

El resultado de este experimento resultó positivo, por lo que Alonso Cortés solicitó pasar a la Corte para explicar estas innovaciones, pero se le negó la petición por considerarse que su presencia en Almadén era indispensable en la época de fundición. Este hecho demuestra como la Corte estaban poco interesadas en los avances tecnológicos que pudieran surgir y más ocupadas en poco invertir y sí en obtener beneficios como fuera.

Francisco Navarro

En 1738 ofreció la obtención de azogue con mayores ventajas que las conseguidas hasta ese momento llegando a construir un horno que ubicó en el mismo lugar que el horno de Tetoni, pero tampoco resultó una experiencia con el resultado apetecido. Señalar que a mediados de siglo, ya se contaba con 8 pares de hornos de aludeles.

A través de las memorias de Agustín de Betancourt y Molina en 1783, nos consta como se dijo anteriormente, que los hornos de Bustamante también fueron introducidos en la ciudad de Idria, pero sufriendo ciertas modificaciones en las camaretas que reciben los gases que contienen azufre y antes de salir al exterior a través de las chimeneas. Consistía en conducir estos gases mediante una trayectoria descendente y hacerlos pasar por agua para terminar de condensar el mercurio que no lo hubiera hecho antes durante su trayecto. Esta mejora se introduciría también en Almadén, posteriormente.

7.4.5. Hornos de Idria o de Cámaras

Los hornos de cámara o también conocidos como hornos de Idria, eran denominados así por su semejanza con los establecidos en la ciudad de este nombre, cerca de Laibach en la Iliria que sirvieron como modelo a Diego de Larrañaga, aunque al no tener acceso a los planos de estos hornos, ni poder estudiarlos directamente sobre el terreno, los suyos fueron notablemente diferentes. Llegó a construir estos hornos con una capacidad en sus vasos dos veces y media superior para que pudieran recibir la misma cantidad de minerales que los que se construyeron en Idria.

La mina de mercurio de Idria, en la actual Eslovaquia, fue descubierta en 1497, pero no se conoce su sistema de beneficio hasta 1578. Ha combinado siempre sistemas para dar solución tanto a los minerales menudos como a los gruesos y lo único que se sabe a ciencia cierta es que lo mezclaban con cal para destilarlos en retortas hasta 1752, momento en el cual se adoptaron los hornos de cañería o aludeles de Almadén, aunque nunca hubo más de un par de los mismos, que fueron sustituidos luego por otro par de los llamados de cámaras.

En 1803, D. Diego de Larrañaga al ser nombrado Director de las Minas, propuso la modificación de los métodos metalúrgicos basándose en la experiencia de su viaje. Como se dijo anteriormente, la modificación de los hornos de cuba de Bustamante en Idria tuvieron como resultado los hornos de cámara de marcha discontinua o intermitente que llevan el nombre de esa ciudad, siendo en 1806 cuando se instalan un par de ellos en el pueblo de Almadén (San Luis y San Carlos) de manos del mencionado Director de las Minas.

En 1847, se introducen estos hornos en Asturias de tal forma que desde 1847 hasta 1850 aproximadamente, se levantaron 4 pares. Aunque es posible que el modelo de horno de cámaras difundido en Asturias supusiera una variación respecto al de Almadén. Es lógico admitir que se aprovechó esta oportunidad para incorporar algunos cambios de interés en el ámbito constructivo, del combustible y otros. De hecho, la documentación de La Unión Asturiana alude en 1847 a la necesidad que “con urgencia” siente la sociedad del

establecimiento de **hornos de Idria mejorados** según el método del ingeniero Prado²⁴. Además de las innovaciones efectuadas por Prado, parece que se ensayaron también las modificaciones que el ingeniero asturiano Ramón Pellico Paniagua²⁵ había descrito en los Anales de Minas y que había deducido de su experiencia en Almadén.

En el año 2011, realicé mi trabajo fin de máster sobre la repercusión histórico-tecnológica que estos hornos tuvieron en las minas de Almadén. Demás, se realizó un reconstrucción de los mimos basándonos en los planos que disponíamos de Luis de Escosura y Morrogh. En las figuras siguientes se pueden ver un par de vistas de dicha reconstrucción virtual.

²⁴ Casiano de Prado y Vallo (Santiago de Compostela, 13 de agosto de 1797 - Madrid, 4 de julio de 1866) fue un ingeniero de minas y geólogo español. Estudió en la Universidad de Santiago de Compostela y participó, desde muy joven, en la política. En 1817 fue detenido por la Inquisición española acusado de "proposiciones" (formular ideas contrarias a la religión católica) y de leer con frecuencia libros prohibidos. Pasó 400 días recluso e incomunicado en las cárceles secretas de la Inquisición de Santiago de Compostela. Ni siquiera se le permitió contactar con su madre y tampoco se le permitió que leyera libros relacionados con las ciencias naturales "y si pedía en esto alguna gracia, se me reputaba de criminal", como él mismo declaró en un artículo publicado tres años después durante el Trienio Liberal. Fue director del distrito minero de Aragón y Cataluña, y más tarde de las minas de Almadén, a cuyo enriquecimiento contribuyó con sus investigaciones geológicas. Después de desempeñar otras misiones en distintos lugares, entre ellos las Minas de Riotinto, se trasladó a Madrid en 1849 para formar parte de la Comisión del Mapa Geológico de España. Fue director de la Revista Minera, inspector general de Minas, miembro de mérito de la Sociedad Geológica de Londres y académico de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid. Se ocupó de mineralogía, petrografía y paleontología. En este último campo le corresponde el mérito, junto con Mariano de la Paz Graells, de haber dado a conocer los restos de elefantes, aparecidos en 1850, en el tejado de San Isidro de Madrid, después tradicional yacimiento del Paleolítico español. En las proximidades encontró, en las formaciones del Mioceno, varios restos de mamíferos terciarios que más tarde clasificó el paleontólogo Paul Gervais.

²⁵ Ramón Pellico Paniagua fue un Ingeniero de minas y escritor nacido en 1809. Cursó estudios en la Escuela de Minas de Almadén, con prácticas en Linares y Río Tinto. Su primer destino profesional fueron las minas de Almadén; fue catedrático y director de la Escuela de Ingenieros de Minas de Madrid y vocal de la Junta Superior Facultativa de Minería. En su labor profesional se encargó de informar sobre los yacimientos de carbón de León y Palencia, estudiar las condiciones de la cuenca de Espiel y Bélmez, hacer un estudio geológico del Duero, el Guadiana, el Miño y el Tago en territorio portugués. En 1855 asiste a la Exposición Universal de París como representante especial del Gobierno. Formó también parte de la Comisión Nacional de pesas y medidas. En 1862 ingresó en la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Falleció el 25 de abril de 1876. Dejó varias obras, entre ellas: *Memoria sobre las minas de plata de Hiendelaencina, en la provincia de Guadalajara, Importancia y aplicación de los estudios geológicos y Resumen de las lecciones de cristalografía*.



Figura 56: Vista en perspectiva de los hornos de Idria en Almadén
Fuente: Trabajo Fin de Máster de M^a Dolores Pérez Calle (2011)



Figura 57: Sección de un horno de Idria en Almadén
Fuente: Trabajo Fin de Máster de M^a Dolores Pérez Calle (2011)

7.4.6. Hornos Pellet

En el año 1867 el ingeniero francés **D. Emilio Pellet** hace su primera oferta al Ministro de Hacienda D. Manuel García Barzanallana, de establecer un horno de su invención para beneficio de mercurio que reducía considerablemente las pérdidas.

Tal cual se desprende de las condiciones que pedía D. Emilio Pellet para realizar su experimento (TEJERO, 2011) cuando dice:

[...]2ª, bien propondrá lo que crea más conveniente y económico posible a los intereses de la Hacienda, respecto de la habilitación de uno de los hornos de Idria existentes en el Establecimiento, ó de la construcción de uno nuevo para practicar el ensayo comparativo [...]

Estos ensayos fueron comparativos entre los hornos de Pellet y los de Idria además de los de Bustamante, durando varios años con el consiguiente coste. En el Cerco de Buitrones de Almadén, el 22 de Marzo del año 1869, encendió su horno D. Emilio Pellet, resultando los ensayos un auténtico fracaso.

En las deducciones finales, queda claro que este sistema del D. Emilio Pellet era inaplicable en Almadén en las condiciones que se pretendían.

Estos hornos no se llegaron a utilizar en las explotaciones mineras de Almadén, aunque si permanecieron en el Cerco de Buitrones durante bastantes años hasta que son demolidos tal como se recoge en alguna memoria del Cerco de Destilación.

7.4.7. Hornos Berrens

M. Berrens construyó, no sin grandes dificultades, en las Minas de Almadén en 1875 estos hornos por cuenta del Estado en detrimento de los hornos de Idria, pero no se lograron introducir verdaderas mejoras en beneficio del azogue. Si la administración se hubiera propuesto investigar técnicamente los méritos o deméritos de estos hornos por comparación con los hornos usados hasta el momento, pronto hubiera encontrado, y sin necesidad de ensayos materiales, que era muy inferior. La huella que ha dejado este horno ha sido un conjunto de tinajillas y pocetas de decantación. En las siguientes figuras se muestran distintas vistas de los restos de este tipo de hornos, situados en la parte Sureste del Centro de Buitrones, cerca del Almacén de Mercurio y junto a otros restos pertenecientes a un horno de tejera.



Figura 58: Hornos Berrens

Arriba: Vista en diagonal de los hornos Berrens junto a los hornos de tejera

Abajo: Vista desde el Sur de los restos de los hornos Berrens junto a los hornos de tejera

Fuente: TEJERO (2011)

Otra de las cuestiones que se pueden concluir es que el horno de tejera, cuyas ruinas se conservan y aparecen en las imágenes de las anteriores figuras, es posterior a la construcción de este horno Berrens, pues aparece una de sus paredes completamente levantada sobre el cerramiento que contiene a las tinajillas. Además, esta afirmación toma más fuerza pues, comparando distintos planos de distribución del Cerco de Buitrones a lo largo de los años, los hornos de tejera aparecen junto a los de Berrens varios años después.

7.4.8. Hornos Lienders

El parisino **Henry Lienders** pidió autorización para experimentar con un horno de cuba cerrado de planta circular para el beneficio de mineral de azogue en polvo procedente de desechos y escorias en 1883. Según parece, por Real Orden de 4 de septiembre de este mismo año, fue desestimada su solicitud, aunque existen los planos de construcción de estos hornos en el bovedón de la Mina del Pozo de Almadén entre enero de 1885 y marzo de 1887.

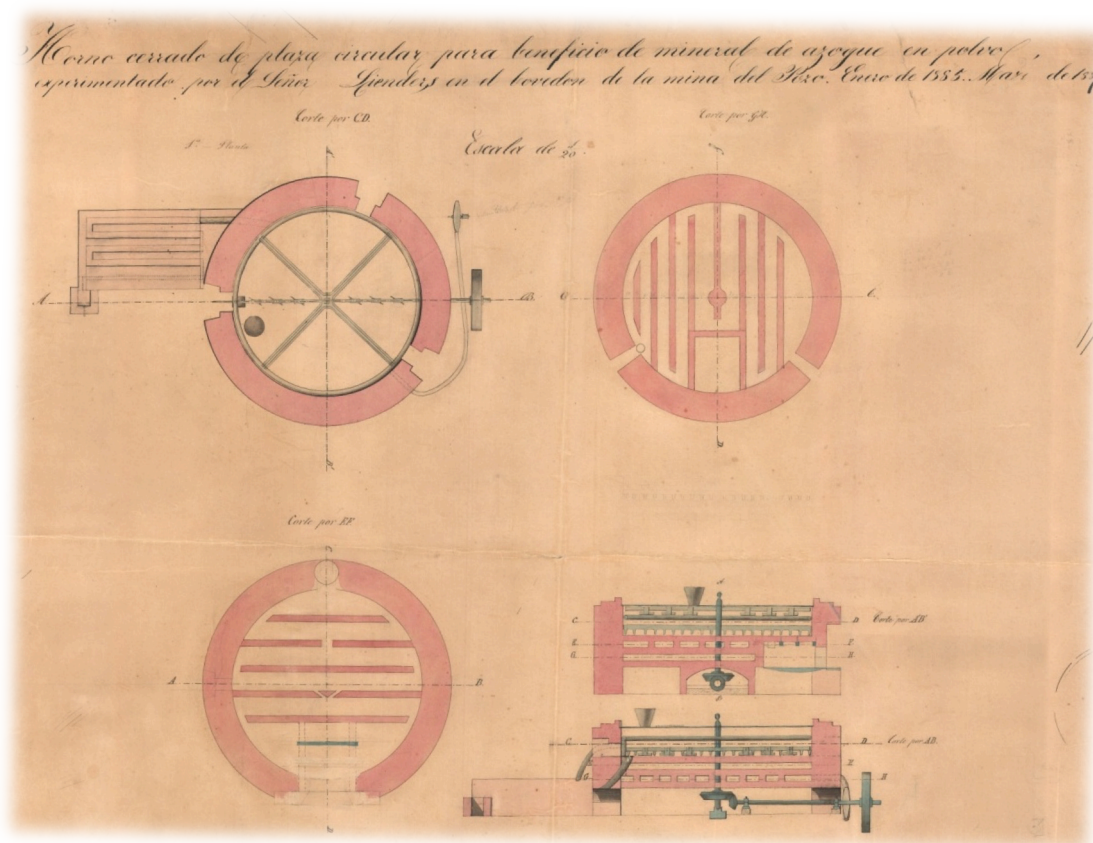


Figura 59: Plano de detalle hornos Lienders de 1885
Fuente: TEJERO (2011)

7.4.9. Hornos Livermoor o de canales

En 1887, siendo Director Facultativo D. Eusebio Oyarzábal e Ingeniero del Cerco D. José de Madariaga, ambos Ingenieros de Minas, se instaló este nuevo horno que ya se utilizaba tanto en Asturias, como en Idria y Amiata. De este tipo de horno de marcha continua²⁶ se construyeron dos.

El sistema de condensación de estos hornos cambiaba con respecto a los hornos de aludeles y de Idria, puesto que consistía en dos partes:

- La primera formada por unas cámaras de ladrillos de paredes delgadas con suelo de chapa de hierro en las más cercanas al horno, y de pizarra de Villar del Rey en las más distantes, dispuestas de tal manera que el aire pudiera circular por debajo de ellas y permitir observar si producía alguna condensación de azogue en los fondos, inclinados hacia un extremo para conducir el metal hasta un canal;
- La segunda parte estaba formada por unas cámaras de madera y cristal que se comunicaban con la chimenea por donde salían los gases. Estuvieron en funcionamiento, al menos hasta la primera década del siglo XX.

Otra de las diferencias que resulta interesante señalar es que en los hornos de canales la destilación era continua. Una vez que se llenaban los canales de mineral con un espesor uniforme, y una vez lo suficientemente expuesto a la acción calorífica y reductora de los gases de la combustión, se retiraba una cierta cantidad de la parte inferior del canal de tal manera que se permitía que la carga cayera gradualmente en el espacio de la porción retirada, cuyo movimiento se transmitía hasta la tolva que desde la cual se volvía a incorporar al canal la misma cantidad de mineral que de escoria retirada.

²⁶ Los hornos los hay de producción discontinua y continúa. En los primeros el horno se carga, luego se quema y a continuación se descarga. Como el tiempo que insume cargar y descargar es muchas veces mayor que el propio tiempo de procesamiento, se inventaron los segundos, en los que la materia prima entra por un lado, se va procesando y sale por otro lado en forma continua, sin que sea necesario parar salvo para efectuar mantenimiento.

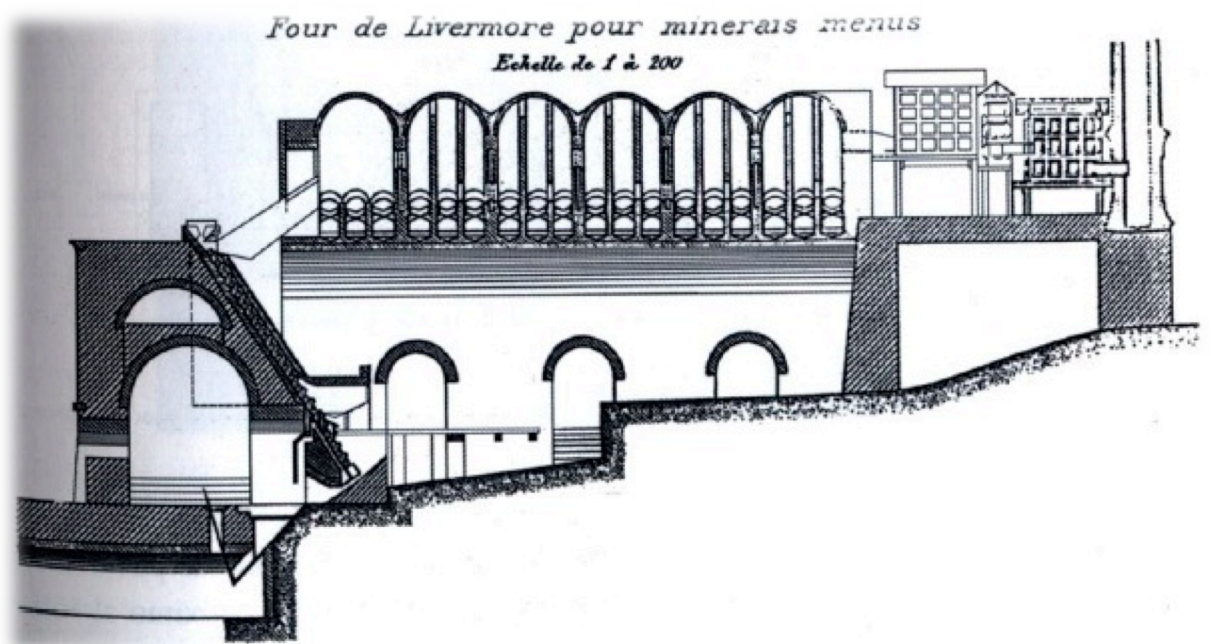


Figura 60: Horno tipo Livermoor
Fuente: Tejero (2011)

7.4.10. Hornos Cermak-Spirek

Poco después, en el año 1902, el Director Facultativo de Almadén, D. Eusebio de Oyarzábal trabajó sin descanso hasta conseguir que el 29 de julio se dictase un Real Decreto de conformidad con lo dictado por el Consejo de Estado y el de Ministros, en virtud del cual se autorizaba a contratar con el Señor Vicente Spirek, natural de Bubovice (Praga), para la construcción de cuatro hornos Cermak-Spirek en el establecimiento Minero de Almadén.

No exentos de polémicas y discusiones entre la empresa y el Ingeniero Vincenzo, en 1904 concluyen los trabajos de construcción de tres hornos Cermak-Spirek de doble cámara y uno sencillo, más otro doble de torre de sección cuadrada sistema Spirek, aunque no es hasta marzo de 1906 cuando se inauguran y se encienden los hornos de manos del Ingeniero italiano Giona Solari, de total confianza de Vicente.

Dado el buen resultado obtenido por estos últimos, introduciendo una serie de modificaciones, se construyeron en 1914 dos hornos más del sistema de cuba Spirek conocidos más tarde como hornos Almadén o de torres. Más hornos de este tipo (en total 8) se construyeron entre los años 1920-1922 según proyecto de 1919.

Los hornos Spirek y Cermak-Spirek se mantuvieron en funcionamiento hasta 1958.

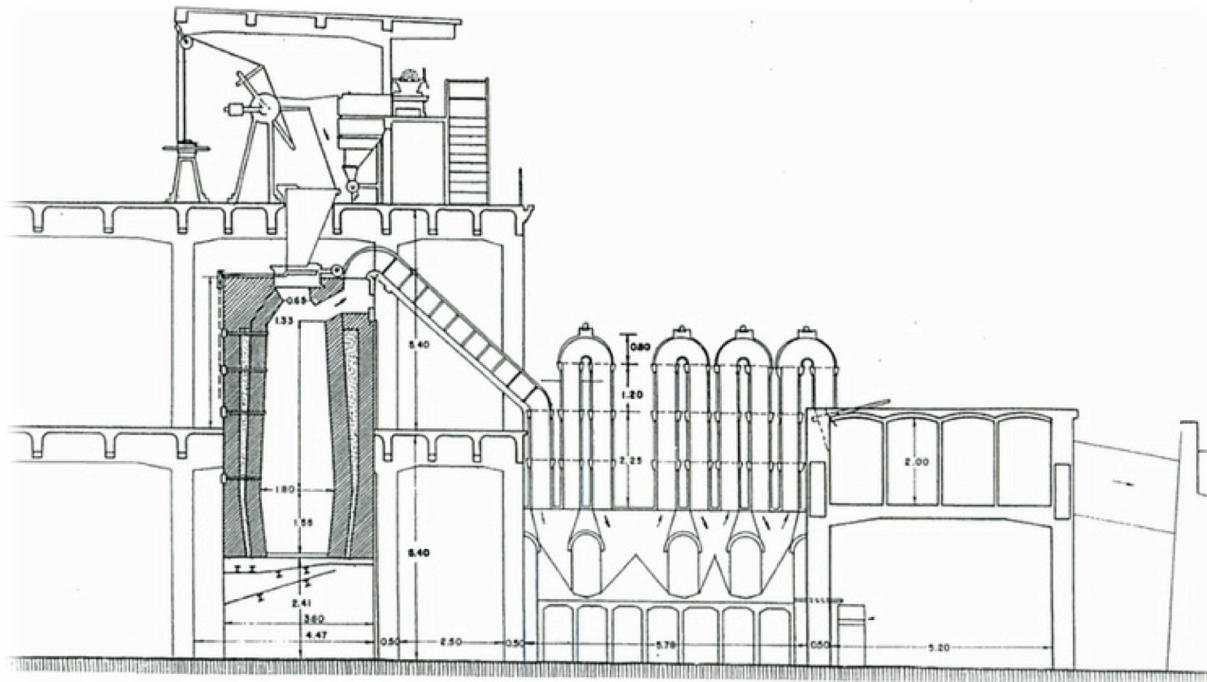


Figura 61: Hornos Spirek (Hornos Almadén o de Torres)

Fuente: DE LA CRUZ GÓMEZ(1995)

En las siguiente figuras se pueden observar dos imágenes de la reconstrucción virtual de estos hornos que fue realizada para la Tesis Doctoral de D. José Tejero Manzanares (2011).



Figura 62: Render de la reconstrucción virtual de los hornos Almadén. Vista sureste del edificio
Fuente: Fuente: Tejero J. "Evolución histórico tecnológica de los hornos en la metalurgia del mercurio de las Minas de Almadén: implantación de los hornos Cermak-Spirek y Spirek". Universidad de Córdoba. 2011.

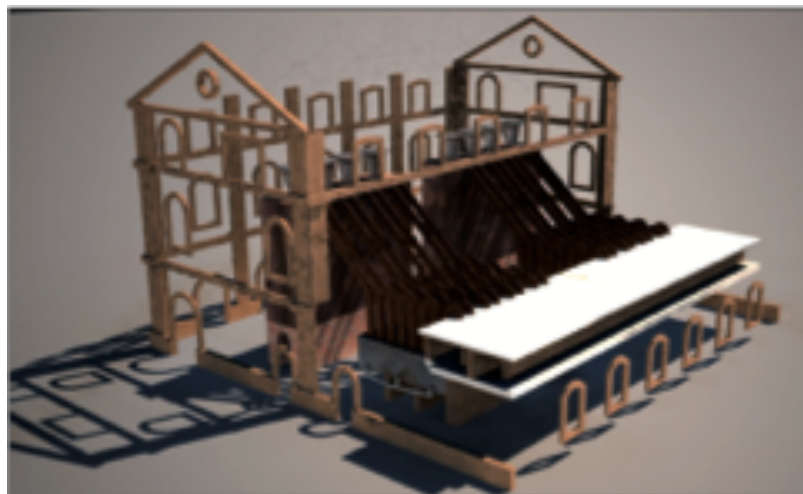


Figura 63: Render de la reconstrucción virtual de los Hornos Almadén: vasos y sistema de condensación más contorno de huecos del edificio que los acogen (vista Noreste)
Fuente: Tejero J. "Evolución histórico tecnológica de los hornos en la metalurgia del mercurio de las Minas de Almadén: implantación de los hornos Cermak-Spirek y Spirek". Universidad de Córdoba. 2011.

7.4.11. Hornos Pacific-Herreshoff

La fuerte demanda de mercurio que empezó a obligar al beneficio de minerales de baja Ley trajo como consecuencia la necesidad de elevar la capacidad de los hornos.

En el año 1953 comienza la construcción de los hornos Pacific-Herreshoff, suministrados por la Pacific-Foundry Co. (San Francisco, California) finalizando la misma en 1955.

Se ha podido recuperar del archivo de la Fundación Francisco Javier Villegas de Almadén algunos de los planos que Pacific-Foundry Co. utilizó para la construcción de estos hornos.

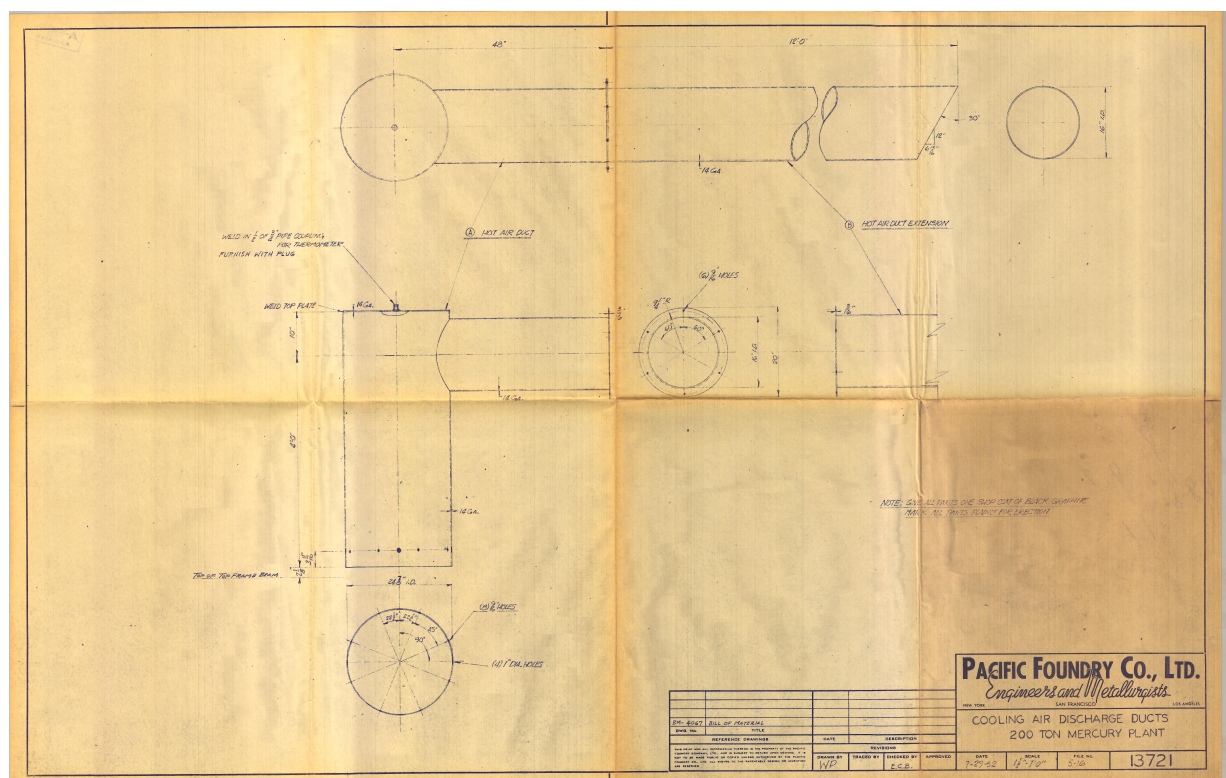


Figura 64: Detalle de conductos de aire de refrigeración (1952)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

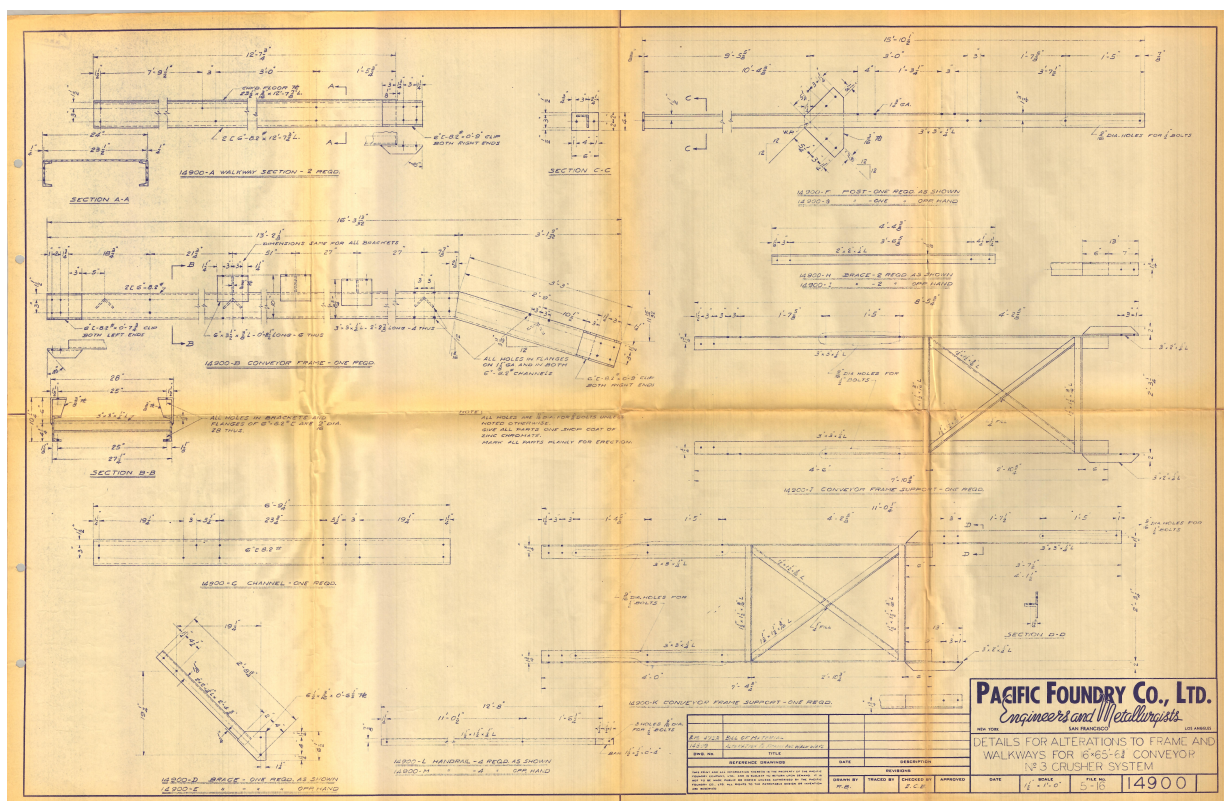


Figura 65: Detalle pasarelas para el transportador

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

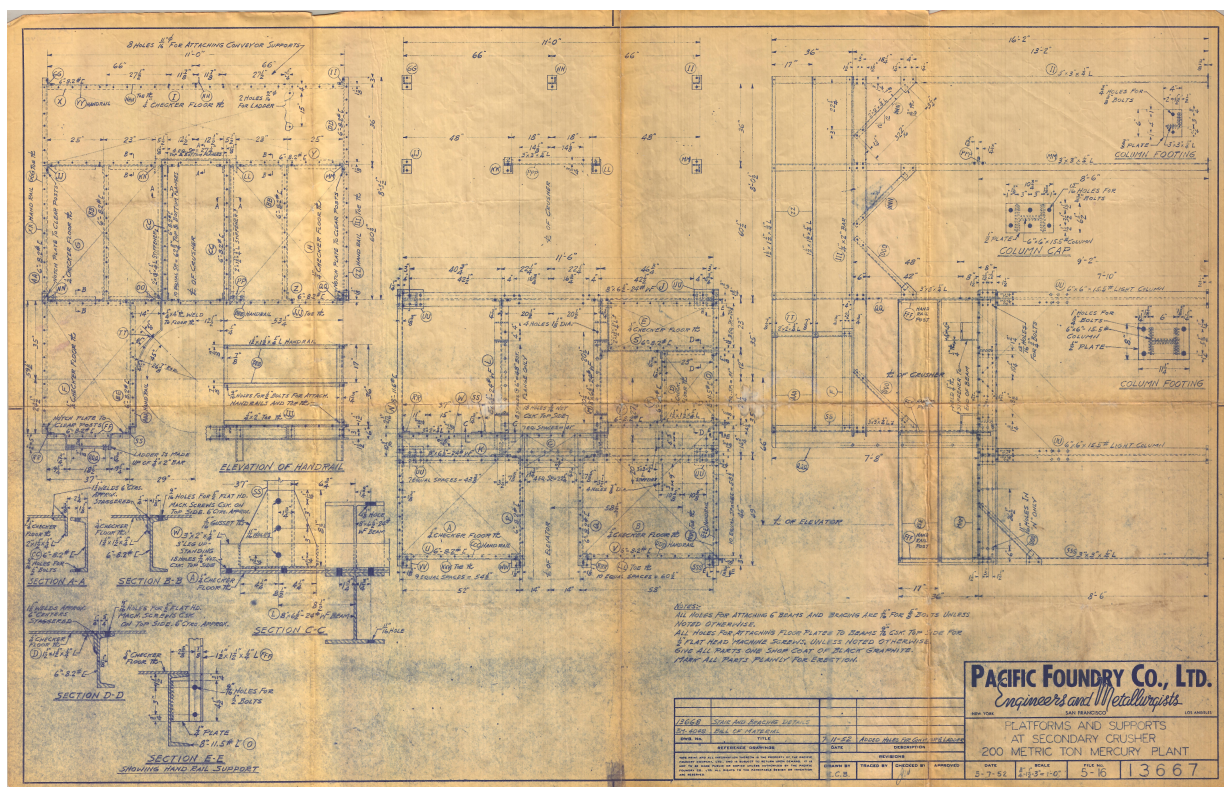


Figura 66: Detalle de plataformas y soportes en machacadora secundaria (1952)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

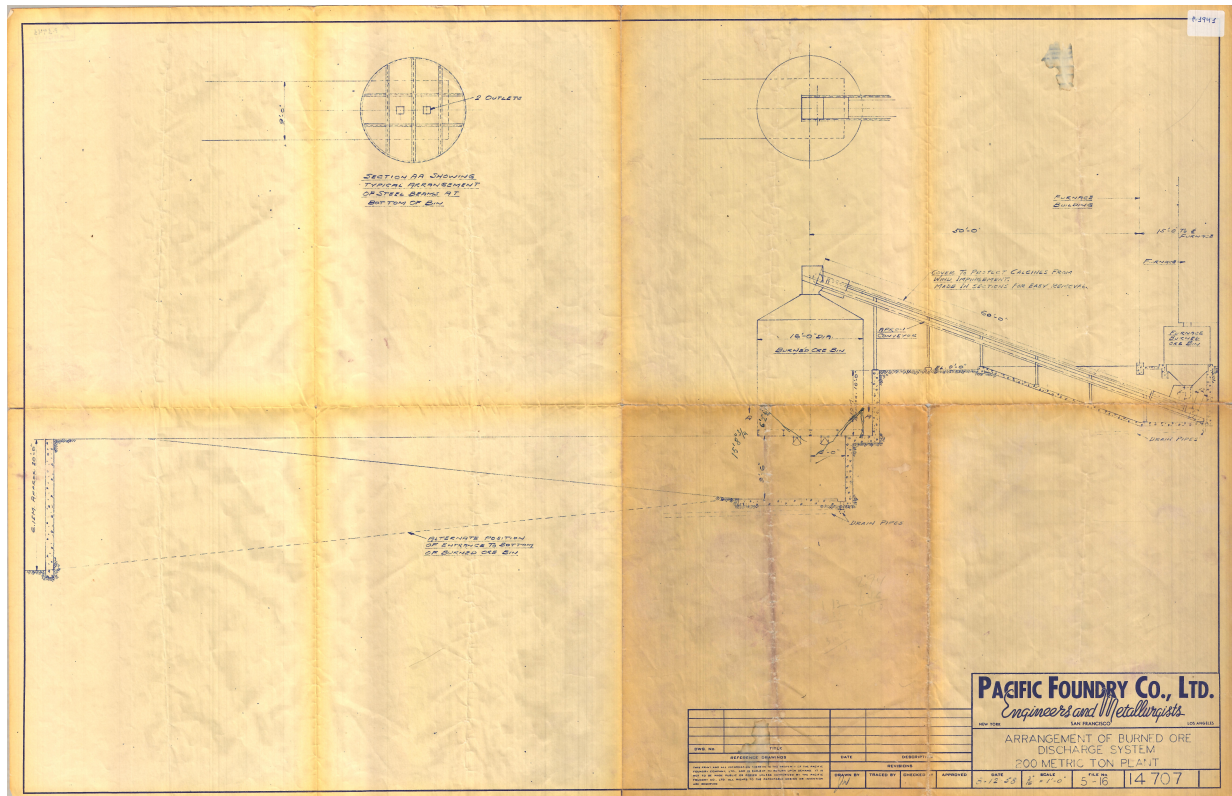


Figura 67. Detalle del sistema de descarga del mineral quemado (1958)
Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

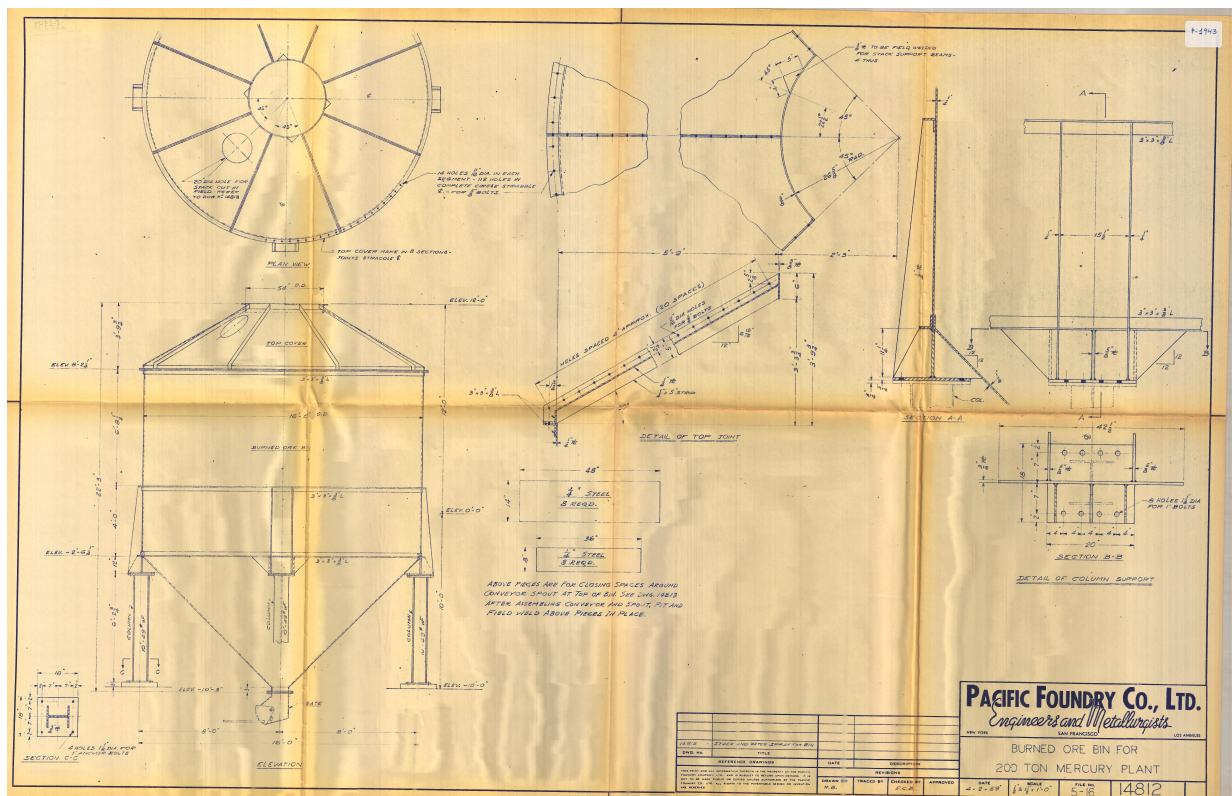


Figura 68: Detalle de depósito para mineral quemado (1959)
Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

Estos hornos se basan en los clásicos Herreshoff utilizados ampliamente en el tratamiento de sulfuros, con la particularidad de que debido al balance calorífico negativo, era necesario utilizar quemadores en los pisos 3, 4, 5 y 6.

El material es triturado al tamaño de una pulgada y se introduce por la parte superior del horno realizando una trayectoria en espiral durante su descenso. Los hornos alcanzan una temperatura de 750 °C y el combustible empleado ya es el *propano* ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$)²⁷, lo que reduce el tiempo de tostación a menos de 2 horas.

Los gases de combustión después de pasar por un ciclón que elimina el polvo, llega a los condensadores depositándose el mercurio en unas pilas con agua. El mercurio es conducido por unas tuberías desde los hornos hasta el almacén, donde se introduce en unas piletas y recubierto por agua para evitar su evaporación.



Figura 69: Vista aérea de desde el Oeste de los hornos Pacific de Almadén.

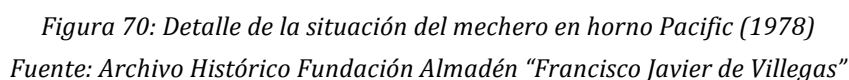
Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

Su construcción es la clásica de este tipo de horno. Constaba de un cilindro vertical con ocho hogares de forma abovedada. Cada solera medía 16 pies (4,8 m) de diámetro; la caída del mineral, movido por unos rastrillos, de una solera a otra no es libre, sino que pasa por los tubos, lo que evita el arrastre de polvo. En las paredes del horno existen

²⁷ Gas propano (C_3H_8). Es un gas licuado del petróleo (GLP). El propano se identificó como componente volátil en la gasolina en EE.UU. en 1910.

Ventajas: El poder calorífico del gas propano supera el de otras energías permitiendo un rendimiento más elevado. Su flexibilidad ofrece la posibilidad de ajustar la temperatura de los aparatos en cada momento. Su fácil y seguro transporte y su almacenamiento en diversos tipos de depósitos y con diversas capacidades, permiten utilizar esta energía en cualquier lugar y situación. No produce humos ni malos olores.

En la siguiente figura puede observarse un plano de la situación de los mecheros en el horno Pacific.



Repercusión de la implantación de los hornos Pacific-Herreshoff en la metalurgia de las minas de Almadén

mineral rico. El principal inconveniente de la utilización de este horno es que sólo se justifica en el caso de minerales ricos y producciones grandes.

Estuvieron funcionando hasta el cierre de la minas en 2003.

7.4.12. Hornos Rotativos

Sobre 1972, se instalan en Almadén los hornos rotativos (conocidos también como rotatorios) o vis- sin fin, los cuales fueron desmantelados y que no llegaron a funcionar.

7.5. Clasificación y composición de los minerales en las minas de Almadén

En los relatos de Luis de Escosura y Morrogh (*Historia del tratamiento metalúrgico del Azogue en España*. Madrid, 1878), se hacía una clasificación de los minerales en la que nos basaremos para justificar el porqué del uso de un horno y no de otro.

Así decían:

La clasificación de los minerales en Almadén ni es sistemática ni fácil de explicar.

Llaman **Metal** al mineral superior o al más rico. Se compone de cuarcita, generalmente de color oscuro, impregnada de cinabrio cristalino, porque el terroso apenas se conoce en Almadén. Cuando la cuarcita está muy cargada de cinabrio toma el nombre de primera, pero esta denominación no es de ningún interés para el beneficio.

Solera pobre es la cuarcita, también oscura, que solo presenta a la vista algunas manchas de cinabrio. Suele contener bolsadas de azogue nativo, que se descubre al partirla en pedazos pequeños.

Vaciscos son las tierras que se sacan de la mina y los pequeños fragmentos, de menos de 10 cm³, que resultan al partir, las dos clases anteriores.

Estas tres clases son las que produce la mina y al descargar las soleras o grandes espuelas en que se conduce el mineral al cerco, ya se amontonan a un lado el metal, a otro la solera pobre y con separación los vaciscos.

Requiebro y china son las otras dos clases que se formaban al partir el metal y la solera pobre en pedazos del tamaño de una naranja y algo mayores para cargarlos en el horno. Dejan como *metal* los pedazos de cuarcita impregnados de cinabrio, cuyo volumen pasa de 20 cm³, separan el *requiebro*, que son fragmentos del mismo volumen, pero de menor riqueza y a todo lo demás que está entre los 10 y los 20 cm³, le llaman *china*. Los trozos que no exceden de 10 cm³ pasan a los montones de vacisco. Así, la solera pobre de la mina al partirla pierde su nombre, convirtiéndose en china o vaciscos y por eso, para la carga de los hornos resultan las siguientes clases:

Metal: Mineral rico partido en pedazos, cuyo volumen excede de 20 cm³.

Requiebro: Mineral de mediana riqueza en trozos, cuyo volumen excede de 20 cm³.

China: Los fragmentos ricos y pobres que resultan de partir el metal y la solera pobre como viene de la mina, cuyo volumen ni excede de 20 cm³ ni baja de 10 cm³.

Vaciscos: Las tierras de la mina y los fragmentos de menos de 10 cm³ que resultan al partir el metal y la solera pobre. Parte de la solera pobre, en pedazos de gran tamaño, se destina para colocarla encima de la red del horno como de fondo o sostén de la carga; aunque a veces, se prefiere para este uso, la cuarcita de las canteras. Finalmente, los resultados de esta última fueron más satisfactorios.

En cuanto a lo referido a la composición de los minerales diremos que, prescindiendo del azogue nativo que en mayor o menor cantidad contienen los minerales de Almadén, el mineral más abundante es el cinabrio, siempre cristalino y muchas veces cristalizado. No hubo noticias en la época de Escosura de haber encontrado Cloruro de Mercurio (HgCl₂) en las minas, aunque se dio por seguro que en las de Almadenejos se sacaron muestras de esta sustancia.

Los minerales de Almadén contienen también Selenio (Se), aunque en poca cantidad, pero suficiente para manchar de negro el azogue del ensayo de estos minerales por electrolisis. También se encuentran piritas de hierro (FeS_2) bronceadas y blancas, mezcladas con el cinabrio hasta en los trozos más puros y compactos.

La ganga del mineral es cuarcita, algo arcillosa y bituminosa, generalmente de color oscuro y alguna vez completamente blanca, en la que el cinabrio ha penetrado difundiéndose por toda la masa. También suele encontrarse cinabrio en la pizarra arcillosa y bituminosa, aunque no de forma frecuente. Otros minerales como la dolomía cristalizada, el Sulfato de Bario (Barita o Baritina, BaSO_4), el espato calizo, etc., que también suelen hallarse en las minas de Almadén son muy raros y por tanto, no se suele contar con ellos para el beneficio.

La ley media de los minerales de las minas de Almadén es, en realidad, muy difícil de averiguar en una clasificación hecha “a ojo”, ya que, en las minas hay sitios que producen minerales muy ricos y otros que los dan de baja ley.

DESCRIPCION DE LOS HORNOS PACIFIC-HERRESHOFF

8. DESCRIPCIÓN DE LOS HORNOS PACIFIC-HERRESHOFF

Como objeto de esta tesis que son los hornos Pacific-Herreshoff, se describirán con más detalle para una mejor comprensión de su funcionamiento.

En realidad, no es hasta la introducción de estos hornos cuando tiene lugar otro importante salto en la técnica dentro de la historia de las minas de Almadén.

Estos hornos fueron instalados en 1950 y caracterizó a la metalurgia del Siele, de Morone y Bagnore en Italia. En Abbadia San Salvatore (Siena, Italia), se instaló uno pequeño de modesta productividad que sólo se utilizó para el tratamiento del mineral rico.



Figura 71: Hornos Pacific en la mina de Siele

Fuente:mapio.net

Los Hornos Pacific estaban compuestos por un cilindro vertical de acero revestido con material refractario e internamente dividido por plantas. Las tolvas de carga se encontraban en la parte superior del horno. El avance del mineral hacia abajo era asegurado por el raspado de un peine en todos los pisos, impulsado por un eje central. Los

quemadores de aceite se sitúan en cada planta, y la evacuación de la escoria se llevaba a cabo en la base. Estaban completamente automatizados y provistos de paneles de mandos de control electrónico.

Poco después, y si nos queremos referir al estado final de la técnica en la metalurgia del mercurio de Almadén, tenemos que situarnos en el año 1953, año en el que se comienza la construcción de los hornos Pacific-Herreshoff, finalizando la misma en 1955.

Como ya se ha comentado con anterioridad, el proceso en sí se basa en la tostación del cinabrio, dando lugar, en un primer momento, a su vaporización a consecuencia de la temperatura que alcanza la cuarcita que lo contiene, y su posterior oxidación o tostación propiamente dicha, dejando en libertad el mercurio contenido en forma de vapor y la cuarcita libre de cinabrio, en condiciones de ser depositada en escombrera como una escoria del horno.

El proceso global se refleja en la siguiente figura:

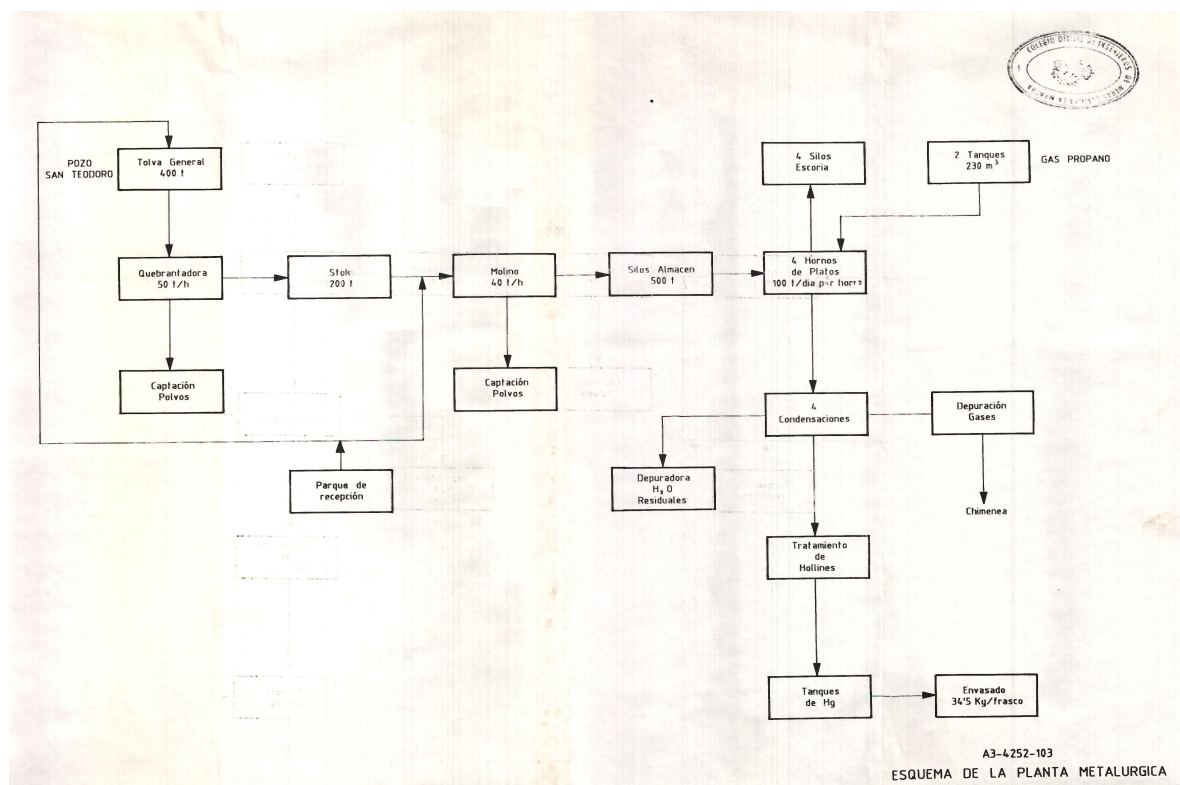


Figura 72. Esquema general del proceso de obtención de mercurio desde el cinabrio

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

El material es triturado al tamaño de una pulgada²⁸ y se introduce por la parte superior del horno realizando una trayectoria en espiral durante su descenso. Los hornos alcanzan una temperatura de 750 °C y el combustible empleado ya es el Propano, cuyas ventajas se verán más adelante, lo que reduce el tiempo de tostación a menos de 2 horas.

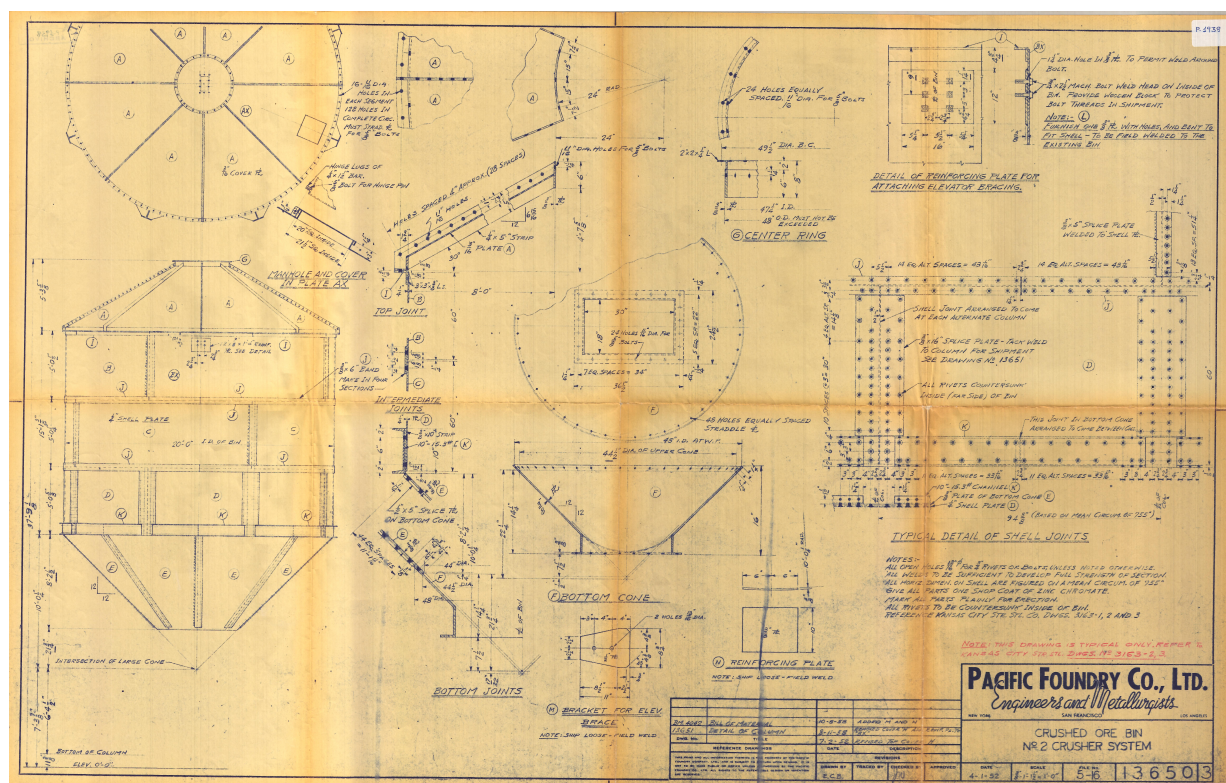


Figura 73: Detalle de la trituradora de mineral (1952)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

Los gases de combustión después de pasar por un ciclón que elimina el polvo, llega a los condensadores depositándose el mercurio en unas pilas con agua. El mercurio es conducido por unas tuberías desde los hornos hasta el almacén, donde se introduce en unas piletas y recubierto por agua para evitar su evaporación.

El estado final de la técnica en Minas de Almadén quedó reducido a los cuatro hornos Pacific-Herreshoff y a un par de hornos de Bustamante, los de San Eugenio y San Julián.

²⁸ 1 pulgada = 2,54 cm

Estos hornos están basados en los hornos Herreshoff clásicos utilizados en el proceso de tostación de los sulfuros.

La ventaja del horno típico de Almadén descrito, es que su consumo energético específico es inferior al de los hornos rotativos empleados en otras plantas: 1200 MJ/T de mineral rico. El principal inconveniente de la utilización de este horno es que sólo se justifica en el caso de minerales ricos y producciones grandes.

En la siguientes figuras podemos ver un dibujo de los Pacific que fueron instalados en las minas de Almadén, así como un plano original sin fechar de una sección de dichos hornos.

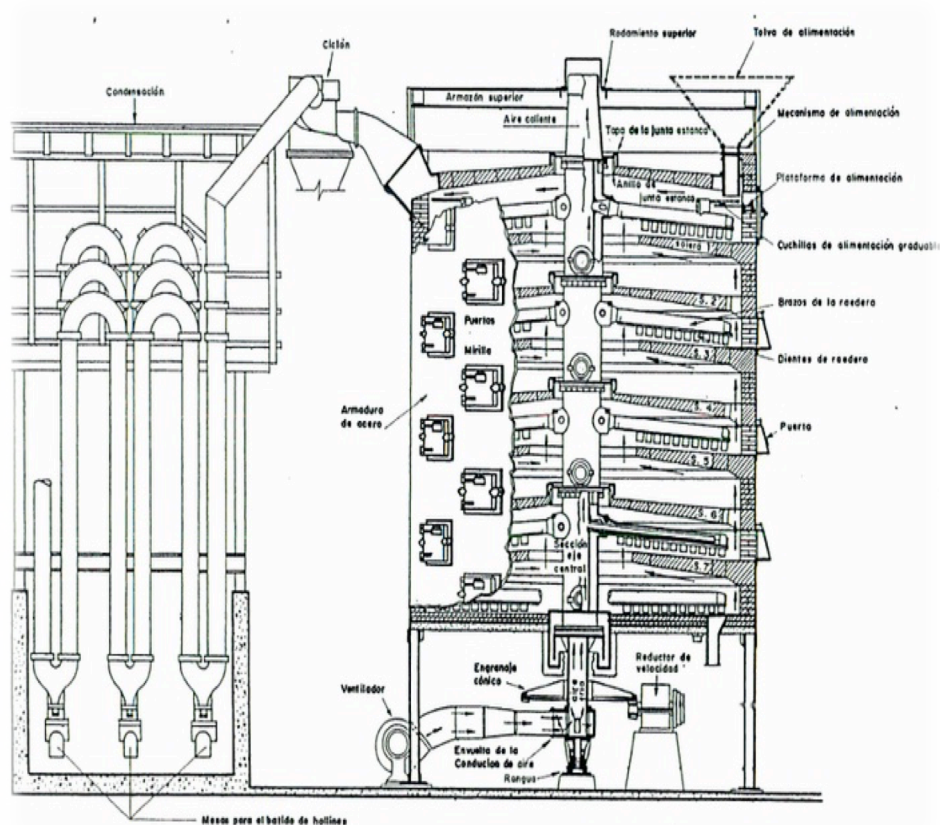
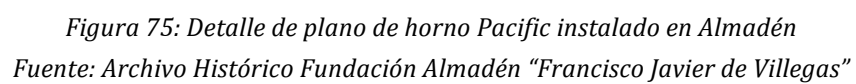


Figura 74: Dibujo de Hornos Pacific de soleras múltiples

Fuente: De la Cruz Gómez (1995)



Pasaremos a analizar las innovaciones acarreadas con la instalación de estos nuevos horno.

8.1. Modificaciones a lo largo del tiempo en los hornos Pacific-Herreshoff

8.1.1. Preparación mecánica del mineral

En cualquier caso, el proceso empieza por la recepción de los productos procedentes de las explotaciones mineras en la tolva de todo uno²⁹ de 400 T situada sobre la machacadora de mandíbulas de simple efecto.

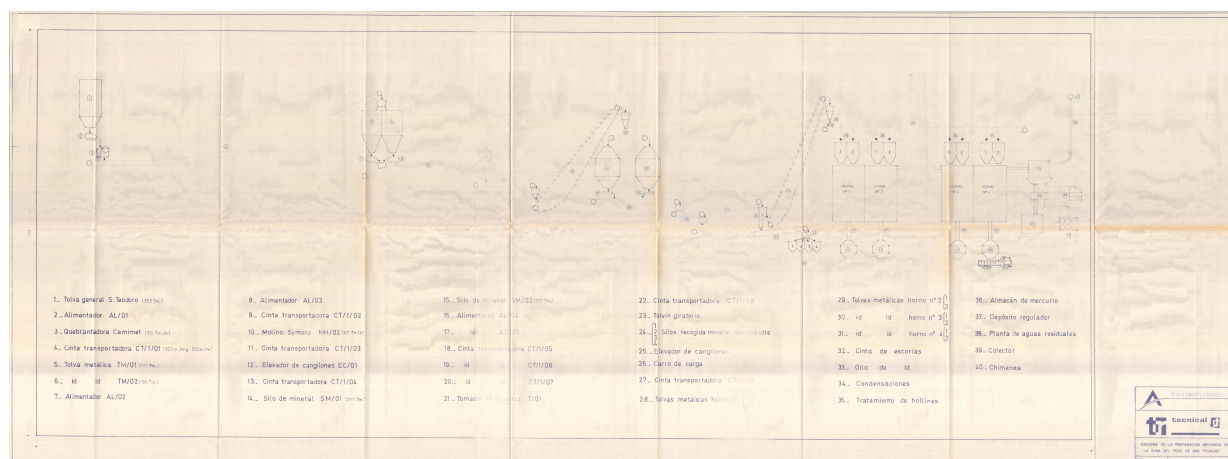


Figura 76: Esquema de la preparación mecánica en el pozo de San Teodoro

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

Hay que señalar que en la documentación manejada para este estudio siempre hace referencia a la tolva de todo uno con una capacidad de 400 T, sin embargo en este plano, sin fechar, dicha tolva está dibujada con una capacidad de 350 T.

²⁹ La Tolva de todo uno es la tolva procedente del frente de extracción.

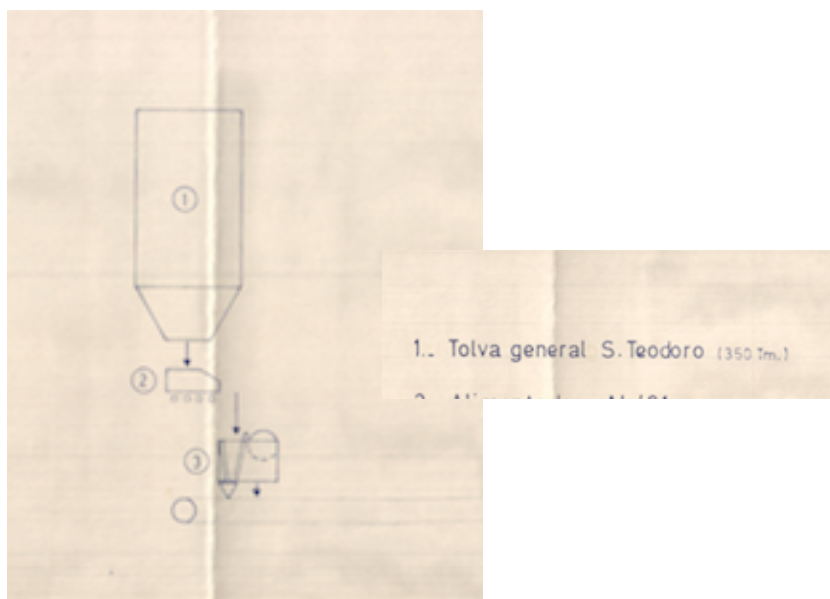


Figura 77: Detalle extraído de la figura 75. Tolva de todo uno.
Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"



Figura 78: Detalles de la tolva del todo uno de 400 T (1960)
Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

En la primera etapa, el circuito del material era el siguiente:

1. Descarga por el alimentador vibrante a la quebrantadora.
2. Salida de la quebrantadora a la cinta túnel que vertía mediante cinta reversible a una de las dos tolvas metálicas de 130 T de capacidad.

Las tolvas se descargaban con los alimentadores vibrantes a la cinta de alimentación al molino de conos de capacidad de 40 T/h que reducía la granulometría del producto de 120 mm a 40 mm. Toda la producción de la planta pasaba por el molino, para evitar la presencia en el horno de trozos mayores de 40 mm que podían perjudicar el proceso de destilación en los hornos.

Los trasvases de cintas transportadoras, descarga al molino y el propio molino, contaban con captación de aire y depuración de dicho aire en dos filtros de mangas, cada uno de ellos capaz de tratar una caudal de 35.000 m³/h y una superficie filtrante de 530 m², lo cual daba una velocidad de paso del aire por las mangas de 1,1 m³/Hxm², cantidad muy adecuada para este tipo de operaciones.

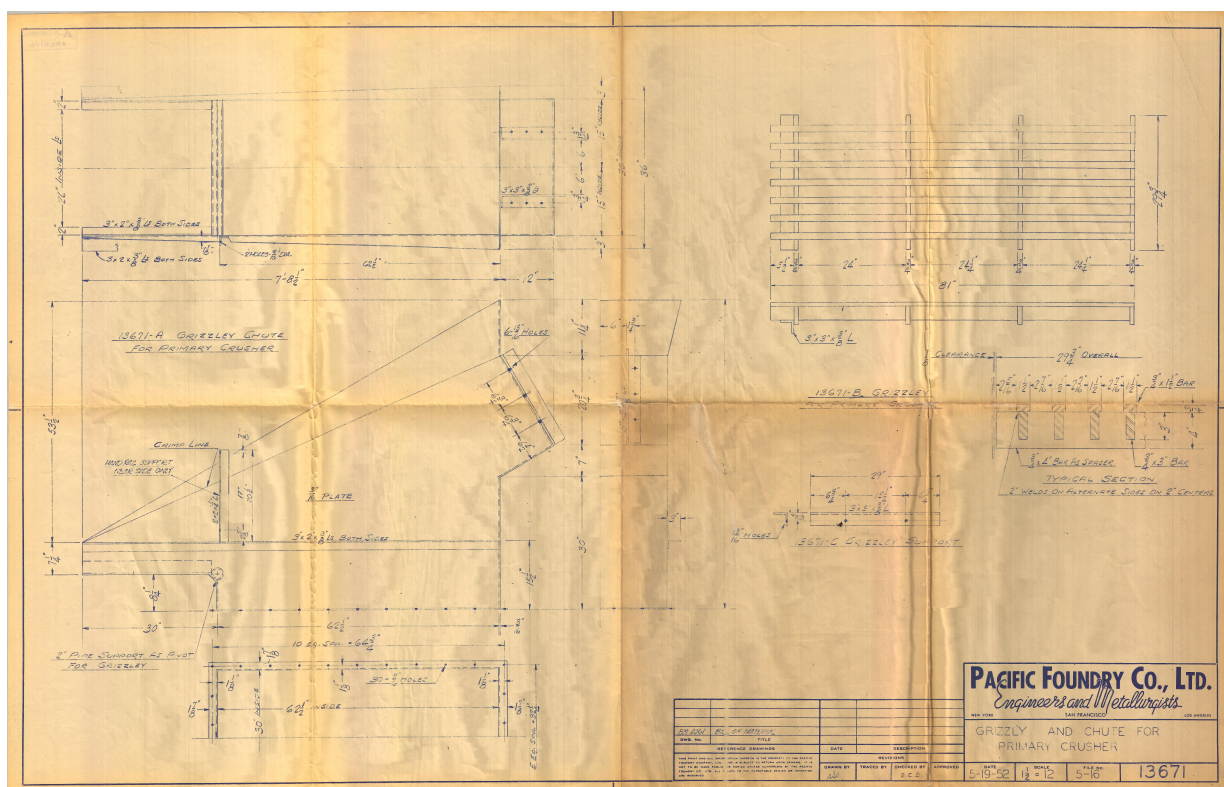


Figura 79: Detalle del alimentador vibrante a la quebrantadora primaria (1952)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

El polvo recogido en los filtros de mangas era peletizado en hormigonera, usando cemento como aglomerante, cargándose los pellets obtenidos en la cinta para su incorporación a los hornos.

El producto molido vierte en la cinta que conduce el mineral mediante los elevadores de cangilones y la cinta entre tolvas a las ollas de mineral molido, cada una de ellas con una capacidad de 250 T.

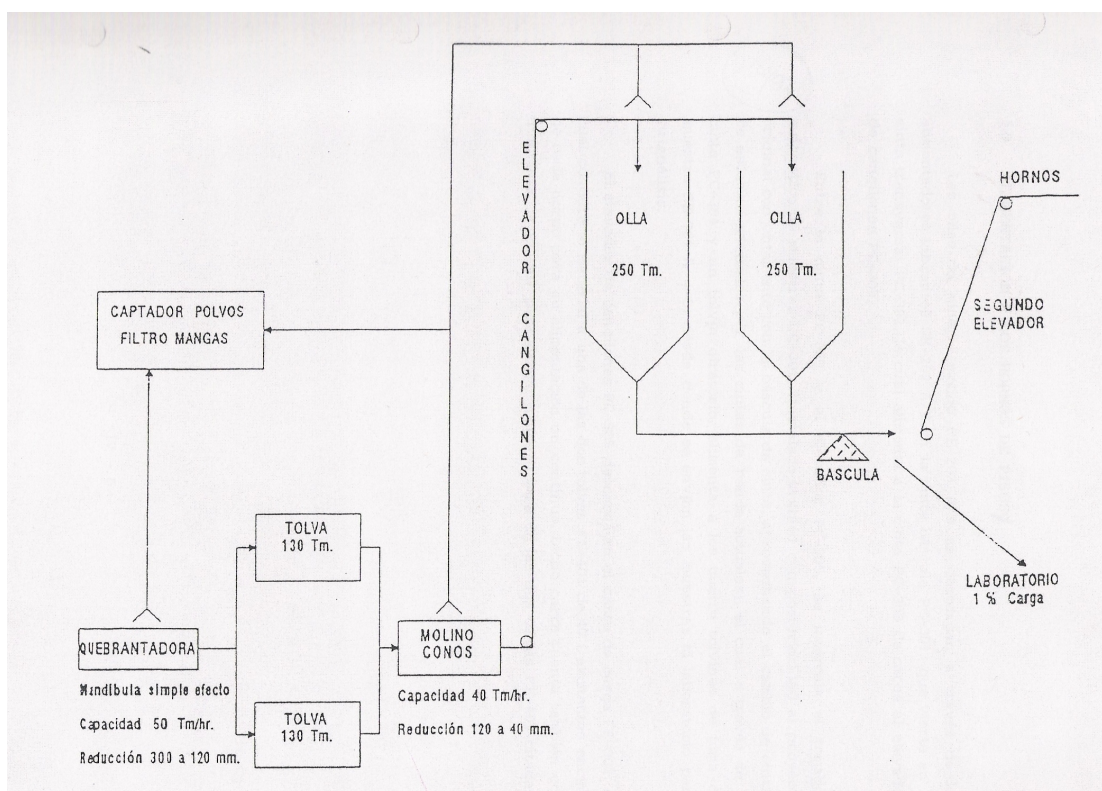


Figura 80: Esquema del circuito del mineral hasta las ollas

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

En las instalaciones originales no existía captación alguna de polvo procedente de la trituración, habiendo sido instaladas captaciones tanto en machacadora de mandíbulas como en cono Symond en la década de los 60, y mas tarde, en la década de los 90, se reforzó la captación de las instalaciones de cono, cintas, alimentadores y elevadores con una estación gemela, procedente de las instalaciones de preparación mecánica de la zona del pozo de San Joaquín, al haber sido desmontada dicha instalación.

8.1.2. Sistema de alimentación de los hornos

Es en la década de los años 70 cuando se produce una modificación en el sistema de alimentación de los hornos. En un principio el mineral se alimentaba a los hornos mediante la caída libre desde las tolvas, situadas en la parte superior de los hornos, sobre la bóveda del cierre del horno, situada en la parte alta del mismo, y por lo cual también se denominaba "bandeja".

El mineral caía en la parte central de la bóveda, próxima a la pared del eje vertical, la cual se encontraba defendida de la erosión que pudiera producirle el mineral en su caída por medio de unas piezas metálicas que constituían el llamado “sombbrero”. Los cuatro brazos que el eje soportaba en esta zona, acompañados de sus correspondientes paletas, hacían que el mineral se deslizase desde el centro de la bandeja hacia la periferia, donde el mineral entraba a la primera cámara del horno a través de unas ventanas que le servían, al mismo tiempo de cierre para evitar la entrada del aire.

Por ello, el mineral, mientras duraba su recorrido por la bandeja, permanecía al aire libre de la nave que contenía los hornos recibiendo cierto grado de calor, procedente de la temperatura de los gases de la primera cámara a través del refractario que constituía la bóveda, y por lo tanto se iba perdiendo humedad paulatinamente del mineral aunque, al mismo tiempo, se podían evaporar pequeñas gotas de mercurio que acompañaban al mineral, contaminando la atmósfera ambiente.

Es precisamente para evitar dicha contaminación por lo que se hace una modificación. Se decidió eliminar los brazos de la bandeja y sustituirlos por unos alimentadores vibrantes, de forma que la descarga de los mismos se realizase directamente sobre la boca de carga del horno. De esta forma, el mineral no es sometido a calentamiento que pueda evaporar mercurio.

8.1.3. Uso como combustible del GLP Propano

En un principio, la calefacción del horno se efectuaba mediante Gasoil y se consideró conveniente el cambio a Propano para reducir la formación de hollines y mejorar también la calidad de éstos, ya que la combustión sería más limpia, con menos aceites destilados sin quemar que impidiesen la coalescencia de las gotas de mercurio, por una parte y, por otra, la posibilidad de automatizar el funcionamiento de los quemadores con fácil respuesta a una consigna dada de temperatura.

8.1.3.1. Propano Industrial S.A. (1973)

Es en octubre de 1973, cuando la empresa **Propano Industrial S.A.** (Madrid, España) hace un primer presupuesto para la instalación de una planta de almacenamiento de gas propano enterrada.

Esta planta de almacenamiento debía tener al menos 7 m³ para almacenar el propano a granel y sus características debían ser las siguientes:

- Control de calidadPROPANOSA
- Capacidad volumétrica.....7 m³
- Carga útil, al 85%.....3.000 Kg
- Longitud total.....5.580 mm
- Diámetro exterior.....1.300 mm
- Espesor de la chapa en la virola.....10 mm
- Espesor de la chapa en fondos.....10 mm
- Peso aproximado.....1.900 Kg
- Inspecc. Gammagráfica soldaduras.....Total
- Presión de prueba hidráulica.....30 Kg/cm³
- Presión máxima de servicio.....20 Kg/cm³
- Pruebas oficiales.....Delegación P. De industria

El transporte y la carga se haría hasta in situ.

Por supuesto, esto iría acompañado de los accesorios correspondientes (válvulas, manómetros, llaves de paso, etc.), de una defensa contraincendios y de una fosa reglamentaria.

En cuanto a las instalaciones generales, serán necesarias las conducciones, fabricadas en acero estirado en frío sin soldadura con medidas adecuadas, añadiendo también tratamiento anticorrosivo para aquellas partes de tuberías que fueran enterradas.

El equipo vaporizador eléctrico de 25 Kg/h por instalar debía cubrir todos los consumos necesarios e iría albergado en una caseta de diseño especial, donde se regulaba y controlaba el caudal y la presión necesaria, tanto la de vaporización natural del gas producido por el depósito, como del vaporizador. Todo esto también iría acompañado de sus accesorios correspondiente y su cuadro de control.

Las acometidas irían a calderas y necesitarían de válvulas, reguladores de presión y caudal y pequeños accesorios.

La dirección técnica y montaje abarcaría desde las pruebas de estanqueidad y revisiones hasta la regulación y puesta en marcha de la instalación completa.

El importe total de esta instalación ascendería a 296.682 ptas. (1783.09 €)

De este proyecto presentado por Propano S.A. no se han encontrado planos que reflejen la instalación presupuestada.

8.1.3.2. Colegio Oficial de Ingenieros de Madrid (1973)

En octubre de 1973 se realizó un Proyecto por parte del **Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid** (con número de registro 62615) siguiendo las Nomas de Seguridad para las instalaciones distribuidoras de gases licuados del petróleo (GLP) con capacidad de almacenamiento mayor a 20 m³ y hasta 20.000 m³, publicadas en el Boletín Oficial del Estado número 23 del 27 de enero de 1972.

El combustible utilizado sería gas propano comercial en fase gaseosa, realizándose el trasvase y almacenamiento al depósito en fase líquida.

Las características más destacadas de dicho gas eran las siguientes:

Tabla III: Características del Propano

Fuente: Elaboración propia

Fórmula Química	$C_3H_8 + C_4H_{10}$
Tensión de vapor absoluta a 20°C	9 Kg/cm ²
Tensión de vapor relativa a 50°C	18 Kg/cm ²
Peso específico del líquido a 20°C	0.606 Kg/L
Peso específico del líquido a 50°C	0,458 Kg/L
Peso específico del gas a 20°C y presión atmosférica	1,85 Kg/m ³
Poder calorífico	11.900 Kcal/Kg
Temperatura de ebullición aproximada a la presión atmosférica	-45°C
Temperatura de inflamación	535°C
Temperatura máxima de la llama con aire	1920°C

Para posibilitar la descarga del camión cisterna de suministro, se montaron 2 compresores de 7 C.V. con un motor eléctrico antideflagrante cada uno.

La línea principal de alimentación de gas en fase líquida desde el depósito al equipo de vaporización se sometió a la tensión de vapor del GLP; variable con la temperatura ambiente.

El equipo de regulación de la presión del gas, situado a la salida del vaporizador, facilitaba el suministro a una presión de 2,4 Kg/cm², que tras la pérdida de carga admisible, llegaba a la entrada de los aparatos de consumo (quemadores) a una presión de 2 Kg/cm².

Para el almacenamiento del gas se instalaron dos tanques de 113 m³ cada uno totalmente equipados y capaces de almacenar 50 Tm³⁰ de propano aproximadamente

³⁰ Aclaración sobre Tonelada métrica (Tm): La tonelada métrica es una unidad de masa equivalente a la masa que pesaría un metro cúbico de agua dulce. Se le denomina así debido a que equivale a 1000 kg de agua dulce, por lo que para hacer la conversión de toneladas métricas a toneladas hay que utilizar el conversor necesario dependiendo del tipo de tonelada al que se refiera.

cada uno de ellos. Estos tanques contruidos con acero³¹ estaban diseñados para soportar una presión de prueba de 30 Kg/cm². Sus dimensiones eran:

Longitud total.....15,482 m

Diámetro exterior.....3,192 m

Superficie exterior.....152,13 m²

Volumen..... 113 m³

Espesor de los fondos..... 14 mm

Espesor de las virolas..... 21 mm

Los **depósitos** iban equipados con los siguientes elementos:

- Nivel magnético con escala de lectura directa construido en aluminio e instalado en uno de los fondos.
- Válvula de seguridad tarada a 20 Kg/cm² para evitar que la presión interior del tanque sobrepase a la de servicio.
- Válvula para manómetro con nivel de punto alto.
- Manómetro con esfera graduada de 0 a 30 Kg/cm².
- Válvula de utilización gaseosa con limitador de caudal incorporado.
- Válvula de llenado con dispositivo de seguridad al retirarse la manguera o por rotura accidental de ésta.
- Toma de fase líquida, con limitador de caudal incorporado como dispositivo de seguridad para una caudal superior a 120 Kg/h a la presión directa del tanque.
- Válvulas de purga situadas en la generatriz inferior.
- Válvula de llegada línea gas del compresor.
- Nivel rotativo de 1"³² de diámetro con disco para depósitos de 3.200 mm de diámetro con dispositivo de contrapeso.

³¹ Acero con la siguiente composición química: C≤ 0,2; P≤ 0,05; S≤ 0,05 y con las siguientes características físicas: Alargamiento 22% y resiliencia 52-62 Kg/mm²

- Toma de tierra con conexión.

Una vez limpios y preparados los depósitos con una protección anticorrosiva segura, se protegen con un par de manos de pintura alquídica de acabado.

En la siguiente figura puede observarse el detalle de uno de estos depósitos.

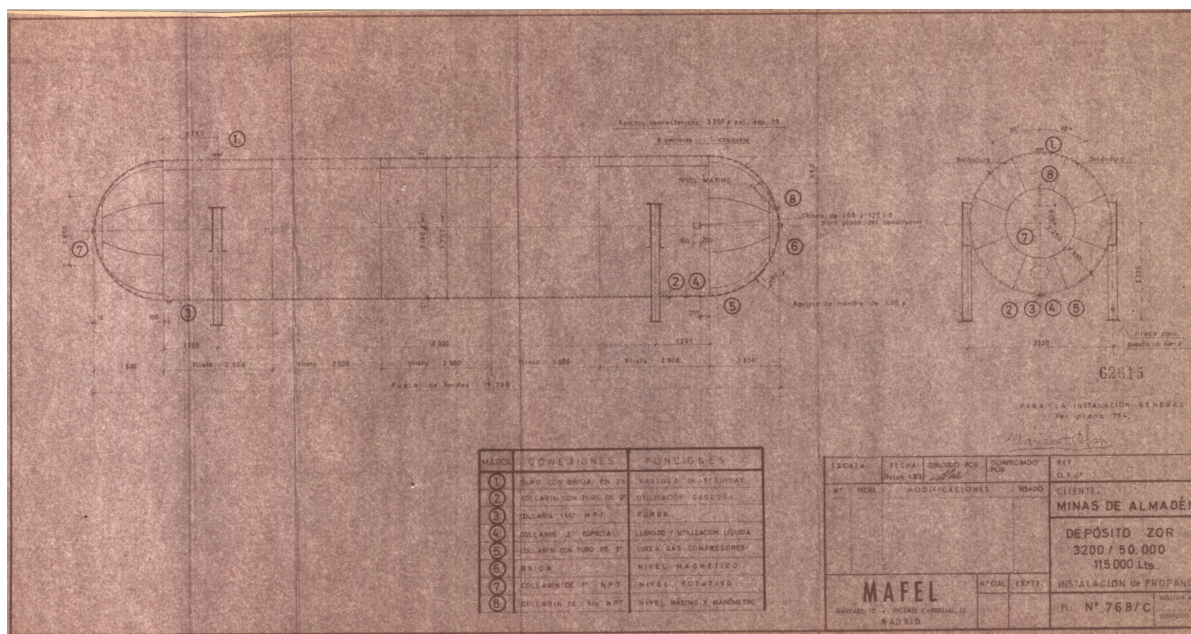


Figura 81: Detalle depósito GLP (1973)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

Por otro lado, es necesario un **vaporizador** de agua caliente para la conversión a fase gaseosa del propano en fase líquida almacenado con el caudal previsto para la primera etapa.

Las características de este vaporizador son:

- Diámetro exterior.....330 mm
- Distancia entre fondos.....2.080 mm
- Altura total incluida la válvula de seguridad.....2.500 mm
- Distancia aproximada del suelo al eje de entrada de agua caliente.....606 mm

³² 1 pulgada (1") = 25,4 mm

- Distancia aproximada del suelo al eje de salida del agua
neutragel fría.....2.345 mm
- Conexión de entrada y salida del agua neutragel.....1" Ø externo
- Conexión de entrada del propano líquido.....Brida ASA 150 1" Ø externo
- Conexión de salida de la válvula de purga.....Brida ASA 150 ½ " Ø externo
- Conexión de salida a utilización..... Brida PN-40 de ½ " Ø externo
- Conexión de salida a las válvulas de seguridad ¾" rosca NPT
- Soportes para tornillos de nivelación y anclaje.

El cuerpo del vaporizador constaba de:

- Válvula de asiento o pistón para la llegada del propano líquido.
- Válvula de asiento para la purga del vaporizador.
- Sistema de seguridad para la posible invasión del propano líquido.
- Panel de control frontal.
- Válvula de seguridad en el cuerpo del vaporizador para garantizar la evacuación a la atmósfera del propano gaseoso, por un sobrecalentamiento de propano líquido y protección de esta salida.

En la siguiente figura se observa el detalle de un vaporizador con caldera.

Diariamente debía verificarse la temperatura del agua y la presión del propano en el vaporizador.

De forma periódica, una o dos veces al mes, debía verificarse la limpieza del quemador de la caldera y del piloto, comprobando de funcionen de forma correcta y purgar el vaporizador a través de la válvula prevista para ello algunos segundos.

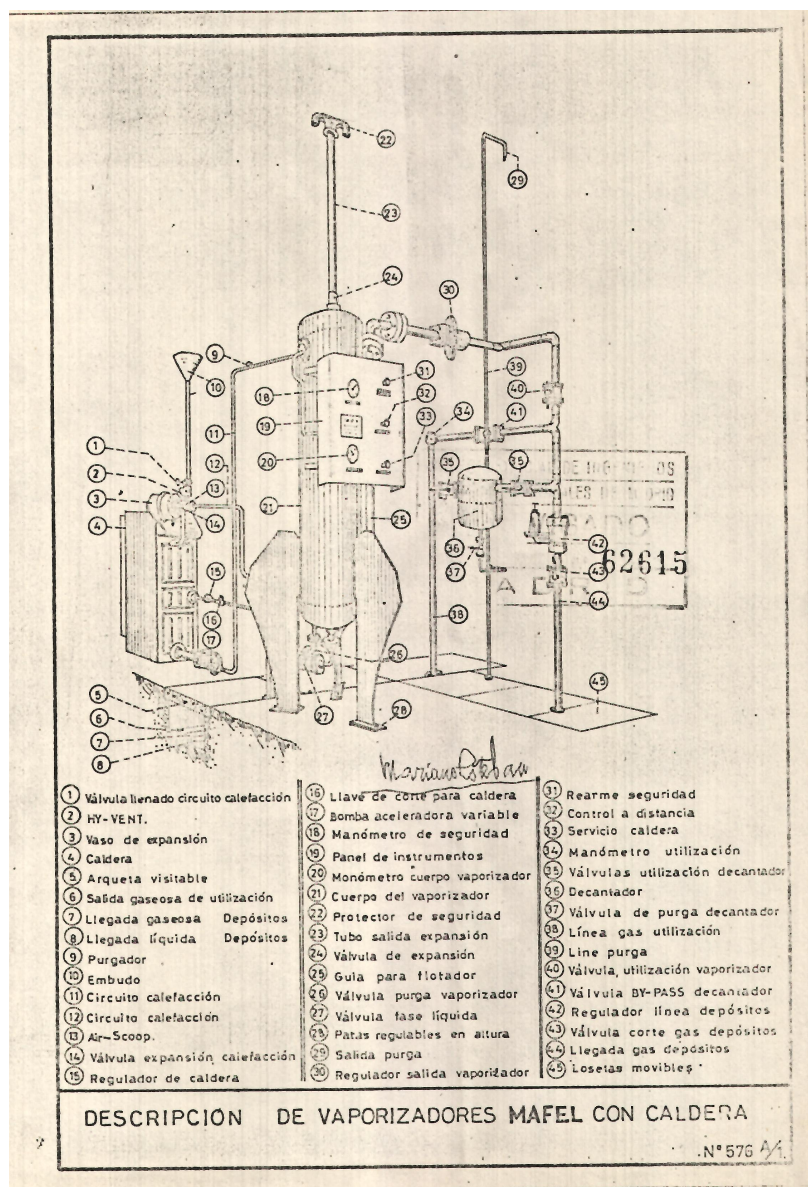


Figura 82: Vaporizador con caldera

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

El equipo de **trasvase** estaba formado por dos compresores que se accionaban mediante correas por un motor eléctrico antideflagante. Estos compresores poseían dos pistones cada uno y alcanzaban una velocidad de 720 rpm³³. Para evitar una posible sobrecarga del motor, cada compresor estaba dotado de un regulador centrífugo para la puesta en vacío durante el arranque.

³³ Teniendo en cuenta del diámetro de los pistones era de 57 mm, podemos decir que la velocidad alcanzada era de 2,15 m/s.

Las **tuberías de conexión** a la estación estaban realizadas en acero estirado sin soldadura y la unión de los diferentes tramos se hará por método manual de soldadura eléctrica por arco con electrodos metálicos revestidos eliminándose también de forma manual.

La canalización se enterró al menos a 0,5 m de profundidad y fue protegida convenientemente contra la corrosión.

En la siguiente figura puede observarse el plano correspondiente al detalle de la tubería enterrada.

En el proyecto del Colegio Oficial de Ingenieros de Madrid que estamos mencionando también se presupuestó el alumbrado, sistema contraincendios (red de agua, extintores, señales, caretas antigás y mantas) e instalación eléctrica de la zona

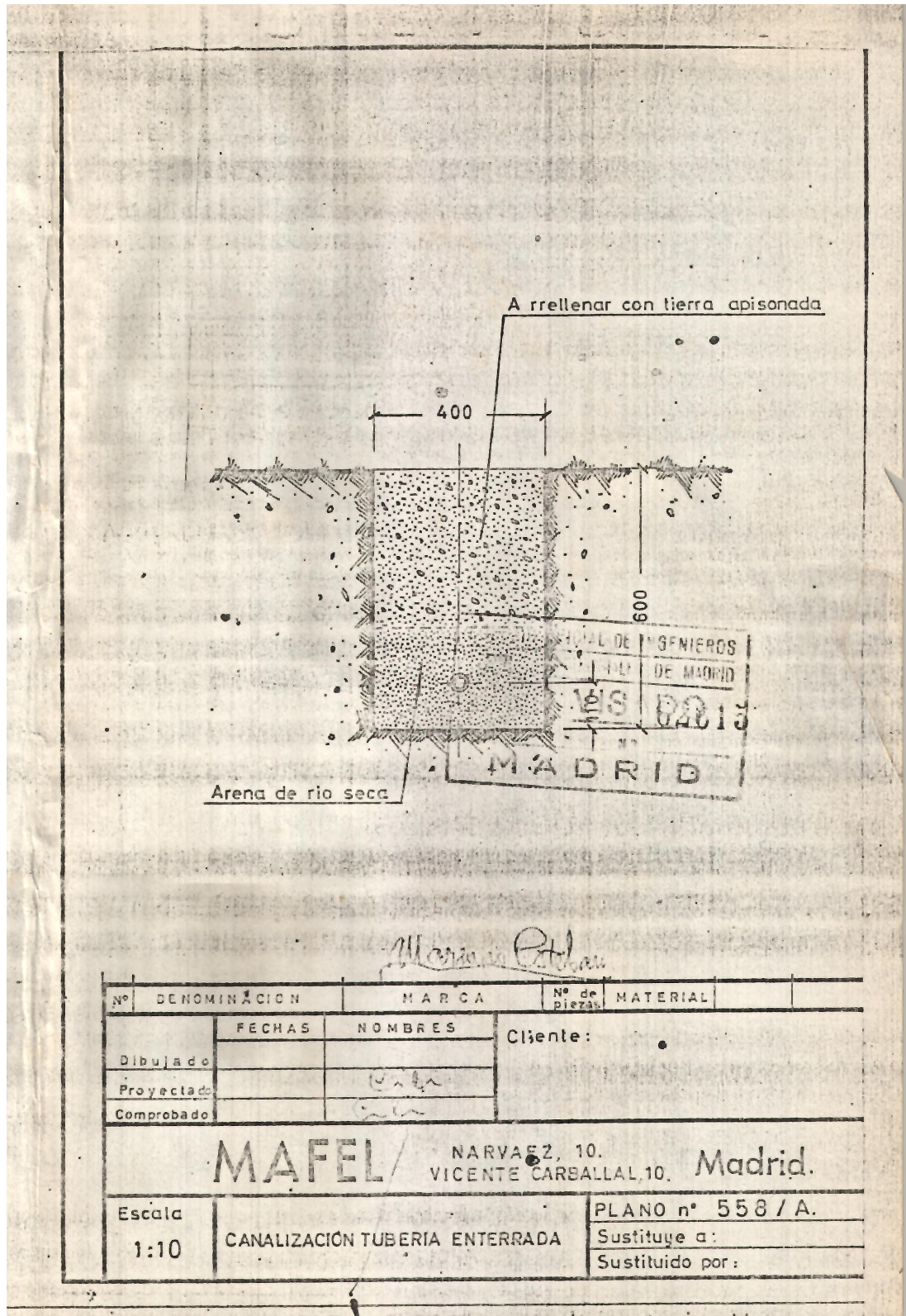


Figura 83: Detalle de tubería enterrada

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

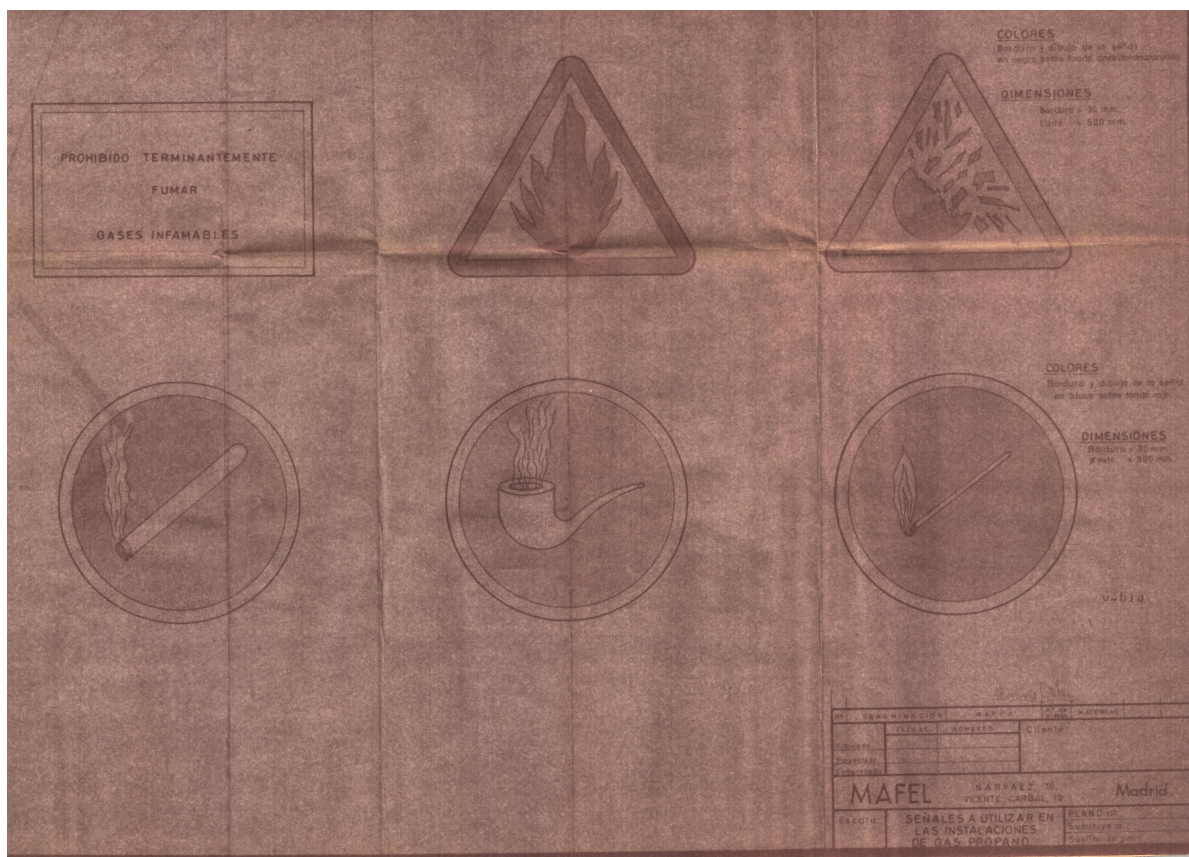


Figura 84: Detalle de señales de seguridad de la instalación
Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

La obra civil de la instalación del GLP abarcó tanto a la zona de almacenamiento del gas como al centro de vaporización.

Fue calculado el consumo suponiendo un funcionamiento de los hornos de 24 horas al día, 360 días al año.

Existe un plano de un esquema general de la instalación del GLP que se muestra en la siguiente figura aunque se puede observar la mala calidad del mismo y lo difícil que se hace la observación de los detalles.

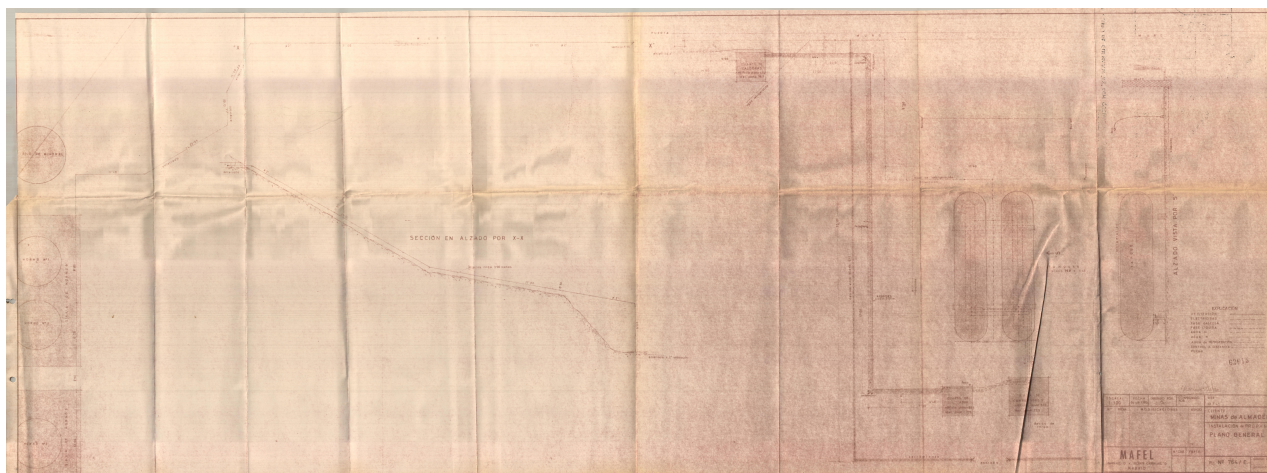


Figura 85: Detalle de plano general (1973)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

En este plano se relacionan las partes y elementos principales que componen la instalación del GLP.

El funcionamiento puede dividirse en dos partes:

1. Trasvase del gas propano en fase líquida del camión cisterna al depósito.
2. Puesta en marcha de la instalación, desde el depósito hasta los distintos puntos de consumo.

Algunas de las **anomalías** que podían darse en el funcionamiento de la instalación son:

- Falta de gas en los aparatos de consumo: debido al agotamiento de los depósitos³⁴, a la obstrucción de los quemadores y/o inyectores por suciedad o a la obstrucción de los filtros.
- Fuga de gas: el característico olor del gas hacía inequívoco la existencia del mismo de una forma incontrolada, bien por la extinción de la llama o bien por

³⁴ Debía solicitarse nuevo suministro de GLP cuando quedara un 20% de la capacidad del tanque ocupado.

una fuga del mismo. Una vez reparada la fuga, era necesario asegurarse de su desaparición.

El importe total de este presupuesto ascendía a la suma de 8.129.704 ptas. (48860,46 €) que se resumía en las siguientes partidas:

- ✓ Almacenamiento → 2.145.000 ptas. (12891.71 €)
- ✓ Transporte y descarga → 275.000 ptas. (1652.78 €)
- ✓ Compresores → 540.880 ptas. (3250.75 €)
- ✓ Quemadores → 3.628.304 ptas. (21806.54 €)
- ✓ Instalación eléctrica del vaporizador → 40.700 ptas. (244.61 €)
- ✓ Red de distribución → 347.280 ptas. (2087.19 €)
- ✓ Instalación eléctrica antideflagante → 171.360 ptas. (1029.89 €)
- ✓ Equipo de vaporizador → 291.000 ptas. (1748.94€)
- ✓ Refrigeración → 120.470 ptas. (724.04 €)
- ✓ Servicio Contraincendios → 183.150 ptas. (1100.75€)
- ✓ Tramitaciones → 386.560 ptas. (2323.27€)

En mayo de 1976 se realizó un estudio sobre la **conveniencia** de utilizar propano obteniendo los siguientes resultados.

Se evidenció que el consumo de combustible era mucho menor que al de otros hornos que usaban gasoil además de ser prácticamente la misma cantidad que la prevista en el proyecto, por lo que el ahorro económico ya era evidente no sólo en dicho combustible si no también de forma indirecta ya que el hollín formado era de mejor calidad así que el tiempo y los productos invertidos en el tratamiento de hollines eran también menores. El propano en general es un combustible “más limpio”, ya que los productos orgánicos obtenidos por craqueo al ser sometido a altas temperaturas son menores.

Este estudio tuvo como objetivo evidenciar de forma cuantificable las diferencias entre el gasoil y el propano como combustibles. La más importante de ellas: el **consumo**.

Se hizo un seguimiento durante 45 días haciendo tres claros grupos diferenciados por la Ley del Mineral.

Los cálculos, se han referido en todo momento a una cantidad de 2.700 Tm de mineral que es lo que se venía tostando por mes y por horno a principios del año 1976 en la minas de Almadén.

Tabla IV: Comparación consumo gasoil frente a consumo de propano

Fuente: Elaboración propia.

Ley Media	Combustible	Consumo Unitario	Costo Unitario	Costo Mensual para 2700 Tm (ptas.)	Diferencia (ptas./mes)
2,817%	Gasoil	38,096 L/Tm	13,95 ptas./L	1.434.886	611.521
	Propano	28,5 Kg/Tm	10,7ptas/Kg	823.365	
2,31%	Gasoil	39,374 L/Tm	13,95 ptas./L	1.483.022	637.990
	Propano	29,25 Kg/Tm	10,7ptas/Kg	845.032	
1,79%	Gasoil	40,650 L/Tm	13,95 ptas./L	1.531.082	643.870
	Propano	30,71 Kg/Tm	10,7ptas/Kg	887.212	
					A favor del propano

* Nota: 1 peseta = 0,01 €.

Como se puede observar, la tendencia es que a menor Ley, el consumo de combustible es mayor; sin embargo, al mes siguiente de haber finalizado este estudio, se produjo un hecho contrario a esta tendencia. Para un mineral de Ley menor, hubo un consumo de 27,48 Kg/Tm de propano. Es por esta razón por la que se completó el estudio con algunos datos técnicos basados en el **Poder calorífico**³⁵ de ambos combustibles.

³⁵ Se refiere al poder calorífico inferior (PCI) de un combustible. El PCI es el calor de la combustión que no aprovecha la energía de condensación del agua. El PCS (poder calorífico superior) aprovecha esta energía y por tanto, con la misma cantidad de combustible, se genera más calor.

- Poder calorífico del Gasoil: 9.000 Kcal/L
- Poder calorífico del Propano: 12.000 Kcal/Kg

Usando como ejemplo el caso en que tengamos un mineral de Ley 2,31% de pureza, el consumo de Gasoil sería de 39,374 L/Tm, o lo que es lo mismo, 32,72 Kg/Tm teniendo en cuenta que la densidad del Gasoil es de 0,831 g/cm³.

Las calorías suministradas por esa cantidad de gasoil, las suministrarían 24,54 Kg/Tm de propano ya que su Poder Calorífico es mayor. Esto, trasladado a pesetas, sería:

✚ Gasoil: 39,374 L/Tm → 549,27 ptas./Tm (3.30 €)

✚ Propano: 24,54 Kg/Tm → 262,50 ptas./Tm (1.58 €)

La diferencia económica es considerable, ya que se reduce a más de la mitad.

Una nueva corrección llevó al resultado de que los rendimientos térmicos serían de 80% para el caso del gasoil y del 90% para el caso del propano. Sobre esto, podemos obtener que:

Si el rendimiento del gasoil fuera del 100%:

$$39,374 \text{ L/Tm} = 32,72 \text{ Kg/Tm} \rightarrow \text{equivaldrían a } 26,176 \text{ Kg/Tm}$$

En virtud de los distintos poderes caloríficos, esto nos llevaría a un consumo de propano de 19,632 Kg/Tm, que teniendo en cuenta su rendimiento, serían 21,595 Kg/Tm.

Si suponemos una situación ideal en cuanto a instalación, funcionamiento y manejo, el estudio comparativo sería:

PSC-PSI = Calor latente de vapor de agua.

✚ Gasoil: 39,374 L/Tm → 549,27 ptas./Tm (3.30 €)

✚ Propano: 21,595 Kg/Tm → 231,07 ptas./Tm (1.39 €)

La media de consumo de gasoil medidos en diferentes fechas comprendidas entre septiembre de 1967 y septiembre de 1975 y para una Ley de mineral aproximada a los 2,31% dio como resultado 37,955 L/Tm.

Este consumo relacionado con el poder calorífico y el rendimiento térmico supondría un consumo de propano 20,82 Kg/Tm. El consumo de propano, bajo las mismas premisas, sería un 45,2% menor que el de gasoil. Si se tienen en cuenta las diferencias de presión entre ambos combustibles y suponiendo un precio constante, el ahorro sería de 318,20 ptas./Tm de mineral tratado. (1.91 €/Tm)

Pero la realidad es que ninguna instalación industrial trabaja a un rendimiento del 100%, por tanto, para un rendimiento del 90% que tendría el propano como se comentó en un principio, su consumo sería de 22,90 Kg/Tm y el ahorro de 236,38 ptas./Tm (1.42 €/Tm) de mineral tratado, que para una carga mensual de 2.700 Tm, equivaldrían a 773.226 ptas. por horno (4.65 €/horno)

8.1.4. Recuperación de Mercurio de hollines

En la condensación del mercurio, una parte importante del metal lo hace sobre las partículas de polvo. Debido a la presencia en los gases de cantidades apreciables de sustancias bituminosas, al recubrir estas sustancias el mercurio condensado sobre el polvo, se impide que el mercurio se agrupe formando una fase líquida continua, que sería fácilmente separable; como consecuencia de esto, se recoge una importante cantidad de una emulsión negruzca que en el argot minero se denominan “hollines” (*suises* en francés y *stupps* en inglés).

En Almadén un 30 % del mercurio condensado se recoge en forma líquida y el 70 % en los hollines.

La composición media de estos hollines recogidos en las piletas era la siguiente:

Agua → 15%

Hg → 79%

Hgo \rightarrow 0,1%

HgS \rightarrow 1%

Sólidos \rightarrow 4,9%

Estos datos se reflejaron en una publicación Miguel Fernández Tallante, trabajador del CESIC durante muchos años y responsable de patentes, algunas de las cuáles se citarán posteriormente, relacionadas con el proceso de extracción del mercurio.

Hasta el año 1972, estos hollines se trataban de forma manual. Se sacaban de las piletas y se mezclaban con cal viva en planos inclinados adyacentes a las mismas, lo que permitía pasar aproximadamente el 55% (nunca más del 80%) del mercurio contenido a forma líquida. La masa resultante del tratamiento, que aún contenía el 31,5% del mercurio condensado se reciclaba al horno.

En la siguiente figura podemos ver a un operario tratando manualmente los hollines.

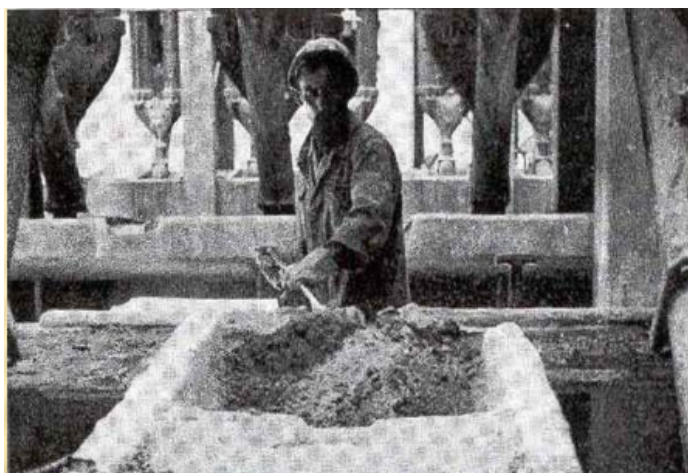


Figura 86: Tratamiento de hollines manual

Fuente: López-Delgado, A. (2008)

9.1.4.1. Junta de Energía Nuclear. Dirección de Química e Isótopos (1966)

Tras una visita, en septiembre de 1966, de la **Dirección de Química e Isótopos** a las instalaciones de producción de mercurio en las minas de Almadén, ésta emitió un informe en el cual se reflejaban los problemas más destacables de la instalación. Como

problema tecnológico más destacable se encontraba la formación de hollines en el proceso de destilación y condensación del mercurio.

Según la dirección de Química e Isótopos, las causas de esta formación de hollines tenían diferente naturaleza. Se pueden nombrar:

- Temperatura de salida de los gases de horno.
- Diferencia de temperatura entre las paredes de los condensadores y el mercurio en estado gaseoso procedente del horno.
- Velocidad del gas en los condensadores.
- Etc.

Todos estos factores favorecen la formación de nieblas de vapor de mercurio, que dan lugar a la formación de estos hollines.

Por otro lado, también contribuyen a la formación de “polvos” que favorecen la formación de nieblas:

- Composición de los minerales de entrada en el horno.
- Procesos físico-químicos del tratamiento: formación del sulfatos ($\text{SO}_4^{=}$) o ácido sulfúrico (H_2SO_4) que a su vez forman sales de mercurio difíciles de descomponer por calor.

Tras unos análisis químicos y mineralógicos realizados a las muestras tomadas en las minas de Almadén se llegó a las conclusiones que se describen a continuación.

- ✓ La tostación del mineral era correcta, como lo probaba la pequeña cantidad de mercurio encontrada en el residuo.

- ✓ Los hollines contenían azufre y sílice, debido posiblemente a la formación de aerosoles de mineral. El contenido en materia orgánica del residuo del hollín podría ser debido a una combustión incompleta del fueloil que se usaba como combustible en la época.
- ✓ El contenido elevado de mercurio en la muestra de hollín y que era separable mecánicamente en el laboratorio, hacía pensar que se podía realizar esa separación a escala industrial.
- ✓ Los contenidos de impureza en el residuo de hollines eran elevados debido a que correspondían a una muestra concentrada en impurezas. Había que tener en cuenta que ese residuo era del 2,5% de la muestra de hollines.

8.4.1.2. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (1968)

Como resultado de las investigaciones llevadas a cabo por Almadén con el **Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM)**, se llegó a un procedimiento ³⁶ cuyo esquema puede verse en la siguiente figura, para recuperar ese mercurio de los hollines de una manera diferentes hasta la entonces realizada, que como se ha comentado era realizada a mano.

³⁶ Patente española con número de solicitud [P0356358](#) (22-7-68): Procedimiento para la separación del mercurio por tratamiento por vía húmeda de los hollines del mismo.

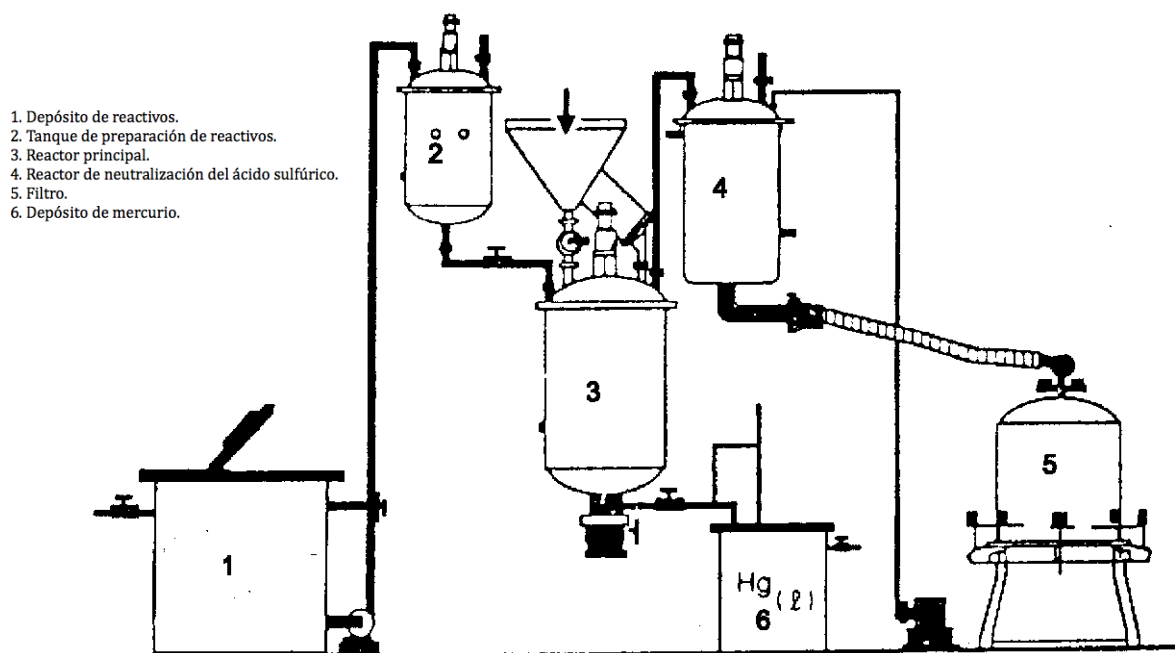


Figura 87: Planta de tratamiento de hollines en Almadén (1968)

Fuente: Consideraciones sobre la implantación de la IPPC en la metalurgia primaria del mercurio. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. (2000).

El tratamiento consiste en un ataque químico que destruye la película oleosa y el sulfuro de mercurio (HgS) que recubre las gotas de mercurio que forman la emulsión.

El ataque se realiza en un reactor de acero inoxidable a una temperatura próxima a la de ebullición, con una solución concentrada de sosa cáustica (NaOH) y sulfuro sódico (Na_2S), que al disolver esta capa, permite la unión de las gotas, recogándose el mercurio en el fondo del reactor. El tiempo de tratamiento desde comenzaba la ebullición dependía del estado de división del mercurio en los hollines, pero en cualquier caso con 1 hora era suficiente.

El procedimiento presentaba las siguientes ventajas:

- El sistema evita la manipulación del mercurio por los obreros, bombeándose directamente el mercurio.
- El sistema de tratamiento es hermético, evitándose el paso de vapores de mercurio a la atmósfera.

- El rendimiento de recuperación de mercurio es elevado: 95 % (antes era del 55%).
- La cantidad de residuos producidos es relativamente pequeña (del orden de un 5%), pero con un contenido de mercurio relativamente alto (cerca del 25 %).

En el año 1975 se presentan unas mejoras a este procedimiento, suponiendo esto una ampliación de la patente³⁷ conseguida en 1968 mediante un certificado de adición, que consiguió aumentar hasta el 99,8% el rendimiento global del proceso de recuperación.



Figura 88: Instalación para la separación del mercurio de los hollines según patentes 356.358 y 442.970

Fuente: Las patentes del CSIC.

³⁷ Patente con número de solicitud P0442970 (25-11-75) Procedimiento para la separación del mercurio por tratamiento por vía húmeda de los hollines del mismo.

8.1.5. Recuperación de Mercurio del polvo de los gases

8.1.5.1. Lurgi Apparatebau Gesellschaft (1968)

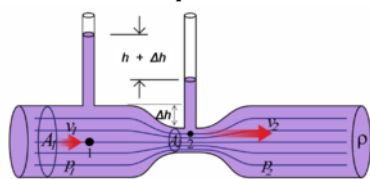
En Octubre de 1968 la empresa **Lurgi Apparatebau Gesellschaft** (Frankfurt, Alemania) emitió un informe para adoptar medidas respecto al contenido en polvo en los gases de los hornos de pisos para la producción de mercurio en Minas de Almadén.

Por aquellas fechas, la mina producía mercurio a partir de un cinabrio con aproximadamente un 2-6% de mercurio. Para ello, existían como ya hemos comentado cuatro hornos de pisos, cada uno de ellos con un ciclón, condensador, ventilador y torre sin relleno (con inyección de agua). El mercurio contenido en estado vapor a unos 360°C en los gases de tostación, se precipitaba en los condensadores. Al quedar hollín mercurial en estos últimos, se pedía una cantidad importante de mercurio. Otra fuente de pérdidas era el gas que había detrás de los ventiladores, ya que este gas aún contenía polvo con trazas de mercurio.

Había que tratar de reducir al máximo el polvo procedente de los hornos de pisos antes de la entrada en la condensación, para disminuir así las cantidades de hollín mercurial al mínimo. Los ciclones tenían que ser sustituidos por una instalación de depuración electrostática o por otros ciclones de alto rendimiento.

Se planteó también que una vez que pasaran por el sistema de condensación, los gases pasaran por lavadores de tipo Venturi³⁸ y reducir así las pérdidas en el gas liberado

³⁸ El efecto Venturi se explica por el Principio de Bernoulli y el principio de continuidad de masa. Si el caudal de un fluido es constante pero la sección disminuye, necesariamente la velocidad aumenta tras atravesar esta sección. Un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión cuando aumenta la velocidad al pasar por una zona de sección menor. En ciertas condiciones, cuando el aumento de velocidad es muy grande, se llegan a producir presiones negativas y entonces, si en este punto del conducto se introduce el extremo de otro conducto, se produce una aspiración del fluido de este conducto, que se mezclará con el que circula por el primer conducto.



Esquema Efecto Venturi

a la atmósfera por la chimenea, por medio de separación de las nieblas de mercurio y refrigeración adicional de los gases, consiguiendo disminuir el contenido de saturación de mercurio.

Para unas futuras instalaciones depuradoras de gas era necesario obtener valores de proyecto y para eso había que tomar medidas de gas y de polvo. Medidas que sólo se tomaron en aquel momento en los hornos 3 y 4 que eran los que estaban operativos.

Los puntos de medida fueron:

- Caudales de gas y cantidades de polvo determinados por aspiración parcial de gas en dos puntos del conducto de gas:
 - después del ciclón, antes de la entrada en la condensación y
 - después de la condensación, antes del ventilador.
- Cantidad de polvo separado en el ciclón determinado por ensacado.

En la siguiente figura se pueden ver los puntos de medida que se acaban de mencionar.

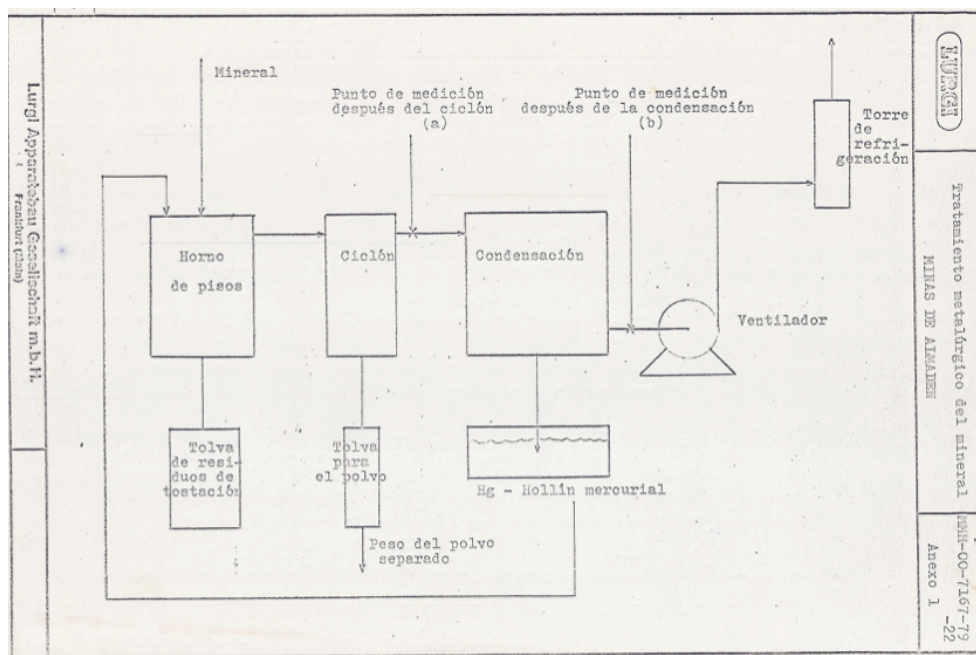


Figura 89: Esquema con puntos de medida

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

Para la determinación del contenido de **polvo en corrientes de gas** parciales después del ciclón (a), fue necesario que el filtro de polvo se encontrase en la corriente de gas dentro del conducto, ya que de haberlo colocado en el exterior habría existido el peligro de condensación del mercurio, lo cual hubiese acarreado una inexactitud en los resultados de las medidas.

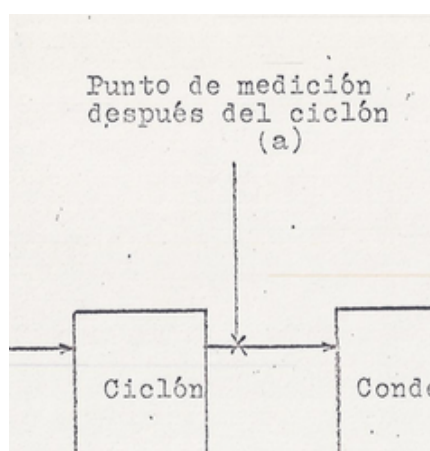


Figura 90: Detalle extraído de la figura 89. Punto de medición (a).

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

Como el contenido en polvo era bastante elevado, solo se pudo realizar la succión con cada estuche del filtro durante 4 minutos a velocidad isocinética³⁹, por lo que para realizar una media través de la sección del conducto fueron necesarios varios estuches.

Las medidas después de la condensación (b) fueron realizadas de la misma forma, pero la menor cantidad de polvo permitió mayor tiempo de succión por estuche.

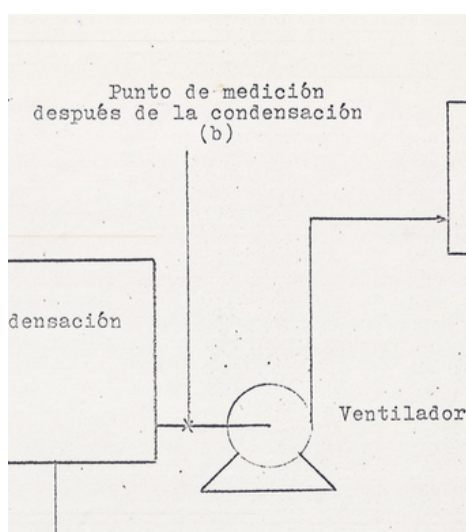


Figura 91: Detalle extraído de la figura 89. Punto de medición (b).

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

La cantidad de polvo separada en el ciclón fue determinada por repetido ensacado durante mas de una hora a la vez que las medidas de gas depurado.

El contenido de **mercurio en el gas detrás del horno** y antes del ciclón se aproximó en base a la medida de la cantidad de gas, el peso de la cantidad de mineral alimentado, y la determinación del contenido de mercurio en el mineral dada por el laboratorio.

³⁹ La velocidad isocinética es aquella en que se mantienen constantes la intensidad y la velocidad a lo largo de todo el movimiento.

El contenido de **mercurio en el gas a depurar después de la condensación** se aproximó en base a la medida de la temperatura del gas, que puede considerarse igual a la temperatura de condensación para el vapor de mercurio. En base a la cantidad de gas se obtuvo la mínima cantidad de mercurio que pasaba en la torre sin relleno instalada y que debía tenerse en cuenta para la proyección del lavador Venturi. Aunque este valor era aproximado solo por encontrarse libres neblinas metálicas en el gas a depurar.

Se trató de determinar el contenido de **mercurio en el gas de forma directa**, pesando el condensado de mercurio depositado detrás del filtro de polvo en la instalación de lavado. Los resultados fueron tan divergentes que no pudieron ser utilizados. Las diminutas partículas de mercurio se agarraron en el conducto de aspiración, que debía ser bastante largo para la refrigeración del gas, y aún rociándose con agua no pudieron ser recuperadas en su totalidad.

Los resultados obtenidos de las medidas reflejaron que el rendimiento del ciclón colocado después del horno tenía un rendimiento muy bajo, del 50%.

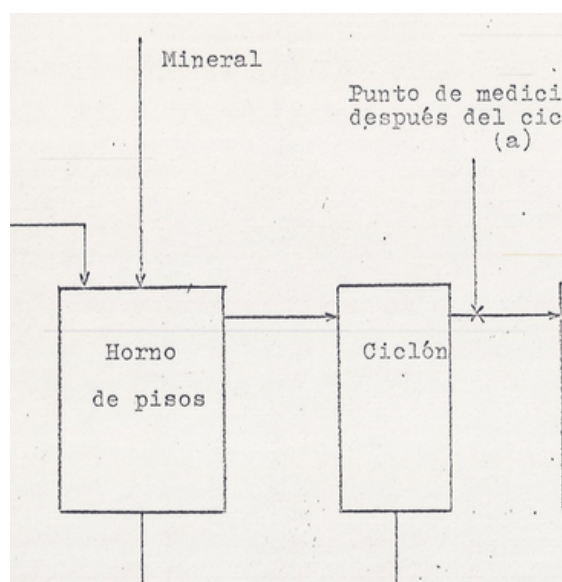


Figura 92: Detalle extraído de la figura 89. Ciclón detrás del horno.

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

Solución: Colocar un electrofiltro en ese punto para dar un rendimiento del 99% y así la cantidad de polvo capturada en la condensación se podía reducir a un mínimo para evitar así la instalación de tratamiento de hollín mercurial. Si esta solución resultara muy costosa, existe la opción de reemplazar los ciclones por otros de alto rendimiento dejando el rendimiento en un 75%.

Por otro lado, un lavador Venturi instalado después de la condensación, teniendo en cuenta el reducido contenido de polvo residual, tendría como función, más que seguir separando el polvo, eliminar por lavado las neblinas de mercurio contenidas en el gas y reducir el contenido de saturación de mercurio por medio de una disminución adicional de la temperatura, de forma que el mercurio perdido en la atmósfera por la chimenea sería reducido al mínimo.

Desgraciadamente, no se ha encontrado documentación donde se reflejen las medidas que se realizaron in situ; no obstante, ha de darse por hecho que existieron dado que se hace referencia a ellas en varias ocasiones en otros legajos que se han utilizado como base para desarrollar esta tesis.

8.1.6. Hornos, Condensadores: Cuadro de control

8.1.6.1. Comsip Automación S.A. (1968)

En octubre de 1968 la empresa **Comsip Automación S.A.** (Madrid, España) especialista en instalaciones de control y eléctricas, desarrolló un estudio a cerca de las posibles elementos de medida y control que podrían incorporarse respecto a los hornos y condensadores instalados en los Pacific-Herreshoff.

Hubo que hacer primero un estudio de la situación actual de las instalaciones para poder sugerir los complementos con que sería necesario equipar las diferentes unidades de la instalación. Así se podría optimizar en un futuro el proceso técnico de producción.

Para estas mejoras se dispondría de unos instrumentos de control que serían centralizados en una serie de paneles situados en la sala de control. Esto supondría una facilidad de explotación de la factoría añadida.

Hornos

Situación de partida para los hornos

En esa fecha existían dos edificios de hornos de dimensiones en su base de 15,6 x 10,2 m, estando separados por una calle de 3 m. En cada edificio había dos hornos de 5 m de diámetro con una altura de 9,5 m. Y a su vez, cada horno constaba de 8 pisos, enumerándolos de arriba abajo:

- ❖ Pisos 1 y 2: Alimentación y calentamiento del mineral.
- ❖ Pisos 3, 4, 5 y 6: Quemadores de cinabrio.
- ❖ Pisos 7 y 8: Enfriamiento de escorias.
- ❖ Del piso 8, los residuos de combustión son enviados por una cinta continua hacia las cuatro ollas de escoria.

Por la parte superior del piso 1 salían los productos sublimados hacia los condensadores por un colector que, posteriormente, se dividirá en tres ramas.

Los cuatro pisos quemadores poseían cada uno dos alimentaciones de fueloil, que era el combustible utilizado aún en esa época, dos de aire primarios o de ignición y dos de aire secundario o de combustión. El consumo de aire primario y secundario por tubería y piso era de unos 310 m³/hora a una presión de unos 715 mm de C.A.⁴⁰.

⁴⁰ mm de columna de agua: es una unidad de presión del sistema técnico de unidades, que equivale a la presión ejercida por una milésima parte de una columna de agua pura (a 4°C) de un metro de altura y al nivel del mar. Es un múltiplo de la unidad columna de agua. Esta unidad de presión es ampliamente utilizada para expresar pérdidas de carga en conductos de ventilación y diversos equipos con circuitos de tuberías, así como los valores de presión estática requeridos para máquinas de fluido como ventiladores, entre otros, debido a su pequeña magnitud física y fácil medición manométrica.

En equivalencias:

1 mm. C.A. = 9,80665 Pa

El fueloil llegaba al horno con una presión de 30 psig.⁴¹ y después de pasar por un regulador, entraba al horno a 15 psig. El consumo diario por los ocho quemadores era de unos 4.000 a 4.500 L/día y la temperatura se había elevado a unos 80°C.

El mineral tendría la entrada por la parte superior del horno y la salida por la inferior, descendiendo de un piso a otro de manera continua.

Existían dos registradores de temperatura de 8 puntos para dos hornos y otros dos registradores de tres puntos para los otros dos.

Las temperaturas de combustión serían:

Piso 1: 300°C → 325°C	Precalentamiento
Piso 2: 400°C → 425°C	
Piso 3: 520°C → 550°C	
Piso 4: 620°C → 650°C	Combustión
Piso 5: 700°C → 725°C	
Piso 6: 770°C → 800°C	
Piso 7: 700°C	Enfriamiento escorias
Piso 8: 600°C	

1 mm. C.A. = 0,009807 KPa

1 mm. C.A. = 0,00142 PSI

1 mm. C.A. = 0,09807 milibar

1 mm. C.A. = 0,07356 mm de Hg (a 0°C)

⁴¹ libra-fuerza por pulgada cuadrada, más conocida como psi (del inglés *pounds-force per square inch*) es una unidad de presión en el sistema anglosajón de unidades. La escala más común se mide en psi, cuyo cero es la presión ambiente, que equivale a una atmósfera (o sea 15 psi aproximadamente). En general no se especifica que la presión atmosférica se deja de lado y se le llama simplemente psi o psig (*psi gauge*: 'psi de manómetro'). En cambio cuando es necesario dejar claro que sí se toma en cuenta la presión ambiente, se usa psia (*psi absolute*: 'psi absolutas') cuyo cero está realmente a presión cero y las primeras 14,7 libras de esta escala corresponden a la presión atmosférica.

Las proporciones conocidas por análisis de algunos de los componentes de los gases de combustión fueron los siguientes:

Salida centrífuga: $\text{CO}_2 \rightarrow 13,2\%$
 $\text{CO} \rightarrow 6,3\%$
 $\text{O}_2 \rightarrow 3,8\%$
A una temperatura de 300°C

Salida chimenea: $\text{CO}_2 \rightarrow 11,5\%$
 $\text{CO} \rightarrow 6,25\%$
 $\text{O}_2 \rightarrow 2,6\%$
A una temperatura de 30°C

Medidas aplicables para los hornos

Ya puestos en situación, las medidas aplicables para los hornos serían:

- Un control del mínimo de temperatura de cada piso por actuación sobre el caudal de fueloil de aportación. Así era posible mantener la temperatura de cada piso dentro de unos límites óptimos, y consumir el mínimo combustible.
- Una regulación del aire de alimentación para obtener una buena combustión con un mínimo de residuos y un máximo de productos sublimados, en función del caudal de fueloil aportado.

Esto debería reducir las posibles pérdidas de mercurio, ya sea contenido en escorias por combustión incorrecta o bien sublimado y contenido en los humos a demasiada alta temperatura.

La proporción fuel/aire se determinaría en función del oxígeno libre contenido en los humos.

Complementos aplicados para los hornos

Para el control del funcionamiento de cada horno se previó un sistema semi-automático que limitara al máximo la intervención humana, que incluso podría eliminarse totalmente si se instalara un sistema totalmente automático, aunque el coste que acarrearía no justificaría tal instalación. Se estimó además necesario la supervisión periódica de un operador, no sólo en situaciones graves de anomalías.

La marcha de cada horno en el sistema semiautomático se controlaba como se refleja en la siguiente figura.

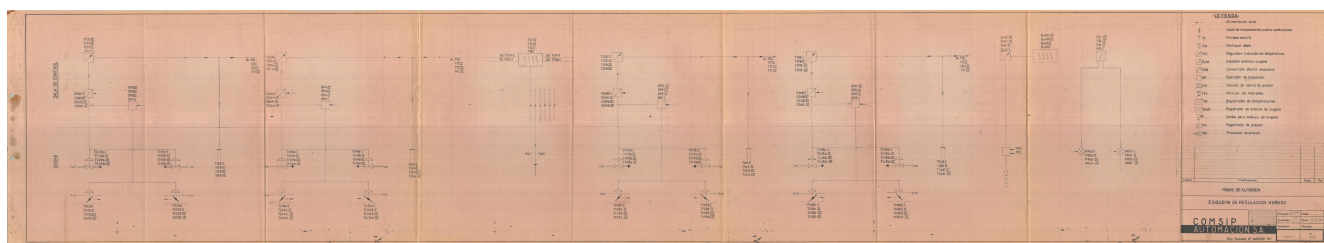


Figura 93: Esquema de control de la marcha semiautomática de los hornos Pacific (1968)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

Las temperaturas de los pisos del horno y salida de humos se registraría en un registrador múltiple de 12 curvas. Dos de esas curvas quedarían en reserva.

En los pisos 3, 4, 5 y 6, la medida de temperatura era doble; una de las ramas iba al registrador múltiple y la otra al regulador electrónico de temperatura a dos acciones (proporcional e integral), según si la señal venía de los pisos 3, 4, 5 o 6 respectivamente, y de los hornos I, II, III y IV.

El regulador electrónico comparaba la temperatura del piso del horno correspondiente con la consigna que se le fijara y enviaba una señal electrónica al convertidor del mismo piso, que transformaba la señal electrónica en neumática, siendo ambas proporcionales.

Del convertidor salía una señal hacia las válvulas de alimentación de fuel al horno, regulando la entrada de combustible en función de la temperatura consignada. Un segunda señal iba hacia un operador de selección donde se fijó la proporción fuel/aire. Hay que destacar que se añadía un pequeño exceso de aire para la correcta tostación del cinabrio, quedando entre un 3 y 5% de O_2 libre.

En la chimenea de salida de gases hacia condensadores, se tomaba muestra para el análisis de O_2 libre quedando registrado dicho porcentaje de oxígeno.

La corrección de la combustión ideal del horno se efectuaba accionando manualmente el operador de proporción, en función del O_2 libre que registrara el registrador.

También se previó un registrador de presión a dos curvas para conocer en todo momento las presiones antes y después de la bomba de absorción de los gases del horno hacia condensadores.

A continuación, se pueden ver algunos detalles de la instalación de regulación de los hornos durante los años 1968 a 1971.

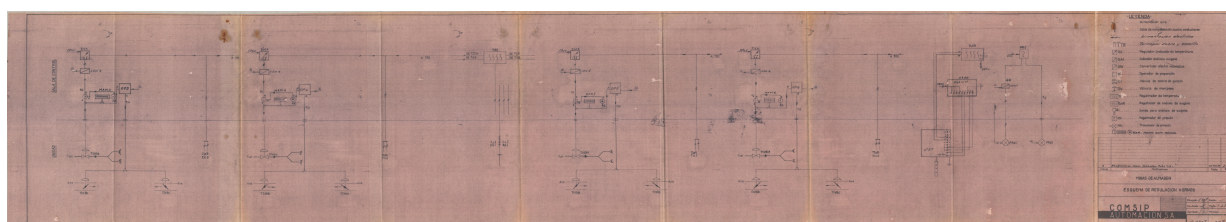


Figura 94: Esquema de regulación de los hornos (1970)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

Y en la siguiente figura se puede observar la sala de control para los hornos.

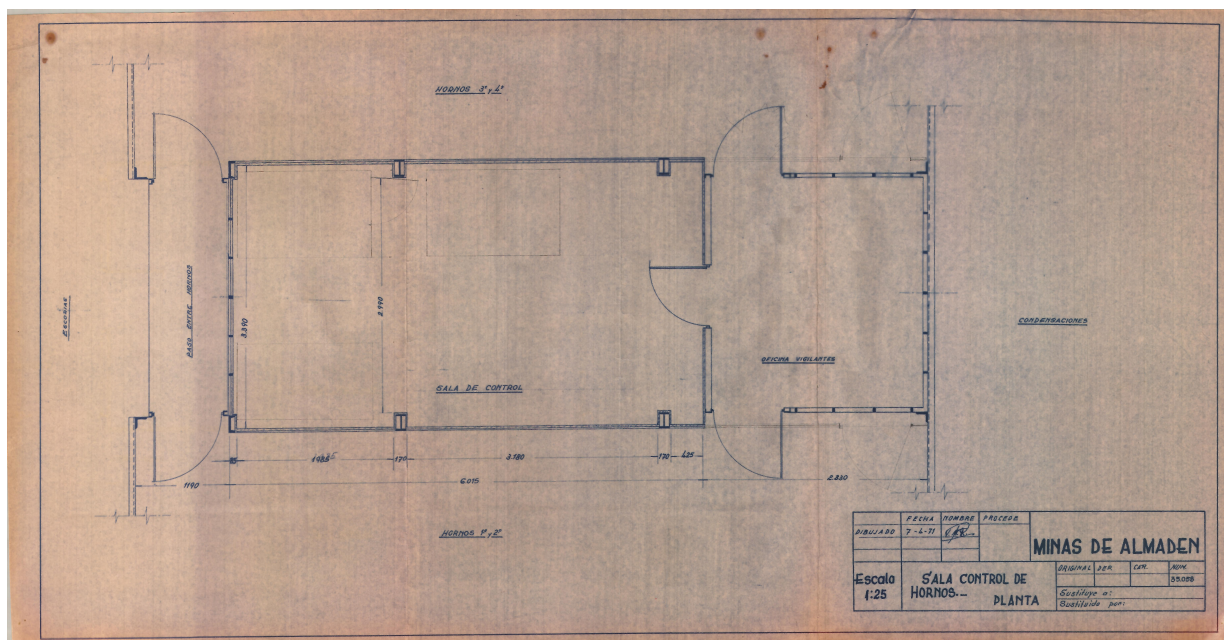


Figura 95: Sala de control de los hornos (1971)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

:

Condensadores

Situación de partida para los condensadores

La situación actual en ese momento respecto a los condensadores se pasa a describir a continuación. Los gases de combustión eran aspirados por una bomba centrífuga y enviados a través de tres brazos a las columnas de condensación. Estas columnas, que eran 48, estaban formadas por tuberías en U invertidas y tenían una tubería de subida de gases y otra de bajada y en la parte inferior un colector para los productos condensados. Cada colector recogía el condensado de 6 tubos y lo llevaba a una pila donde se separaba el mercurio por decantación y luego se lavaba con cal seca. La boca de limpieza de tubos se encontraba situada en la parte superior. Cada U invertida tenía dos bocas, una de subida de gases y otra de bajada. Esas tapas se cerraban con unas tapas especiales de hierro colado. Para la condensación se usaba la temperatura ambiente y la

gran superficie de contacto de los gases. Los gases de combustión llegaban a una temperatura de 290 - 300°C y salían de condensación entre 20 y 40°C, según la temperatura ambiente. Finalmente, los gases pasaban por una torre de lavado, atravesando una cortina de agua, saliendo los humos por la chimenea.

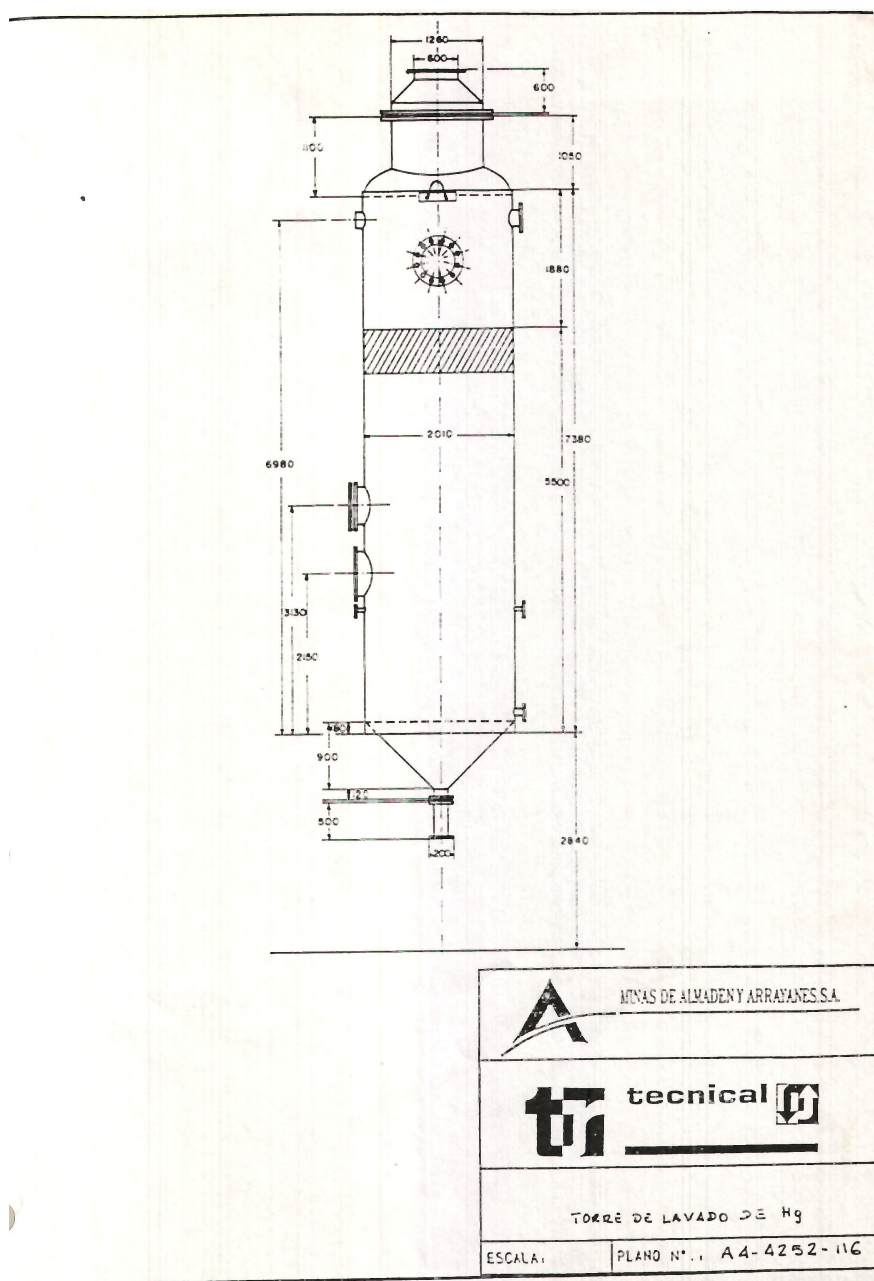


Figura 96: Torre de lavado de horno Pacific

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

Medidas aplicables para los condensadores

En cuanto a los condensadores dichas medidas serían:

- Lavados regulares, programados automáticamente, de los tubos de condensado, para evitar así la formación de capas de polvo en sus paredes con las pérdidas de refrigeración consecuentes y, por tanto de productos sublimados.

Complementos aplicados para los condensadores

Se estableció un sistema de lavado de tuberías, por un procedimiento automático mediante programador cíclico, siguiendo una secuencia predeterminada, que sería sobre los 15 condensadores, siendo en los 5 primeros donde se recoge el mayor porcentaje de mercurio, por lo que era recomendable darles a éstos una mayor frecuencia de lavado, que sería de 3 minutos de tiempo de lavado, con una frecuencia de 2 lavados cada 50 minutos, mientras que los otros 10 condensadores, serán lavados durante 2 minutos cada 50 minutos.

Por un lado, en el cuadro de control se planeó situar todo el aparellaje necesario exceptuando las electroválvulas que se colocarían localmente. En el frente del panel se situaría, en la parte superior, las alarmas de las seguridades consideradas: las de vigilancia en las cuatro líneas de alimentación de modo que en el instante en que actuara la protección de un fusible se produciría una alarma sonora y óptica la cual indicaría además el fusible que ha actuado. Las lámparas de señalización serían las encargadas de ir mostrando en cada momento la electroválvula que se encuentra en estado de apertura y por lo tanto el grupo que está lavando. Los pulsadores tenían como misión poder efectuar manualmente la apertura de una electroválvula cualquiera, independientemente del sistema automático, como seguridad en caso de fallo en el programador cíclico.

Por otro lado, respecto al montaje de esta unidad, se establecería un colector general para el agua de lavado en tubería de acero galvanizada por la parte superior de los

condensadores. Cada condensador pertenecería a un grupo según el horno al que correspondiera y cada grupo sería una derivación en el colector general.

Para establecer la secuencia de funcionamiento prevista, se necesitaría aumentarla capacidad de recogida de las pilas, ya que podrían rebosar por no tener el volumen necesario para recoger el agua que provenía del riego. En el caso de no aumentar este volumen, la secuencia de lavado se modificaría para que toda el agua de riego no desaguara en la misma pila y sí en pilas distintas, aunque esto implicaría que los tiempos de lavado serían entonces iguales, de 2 minutos

En las figuras siguientes se pueden ver algunos planos de la instalación de los condensadores. Todos pertenecen al año 1968.

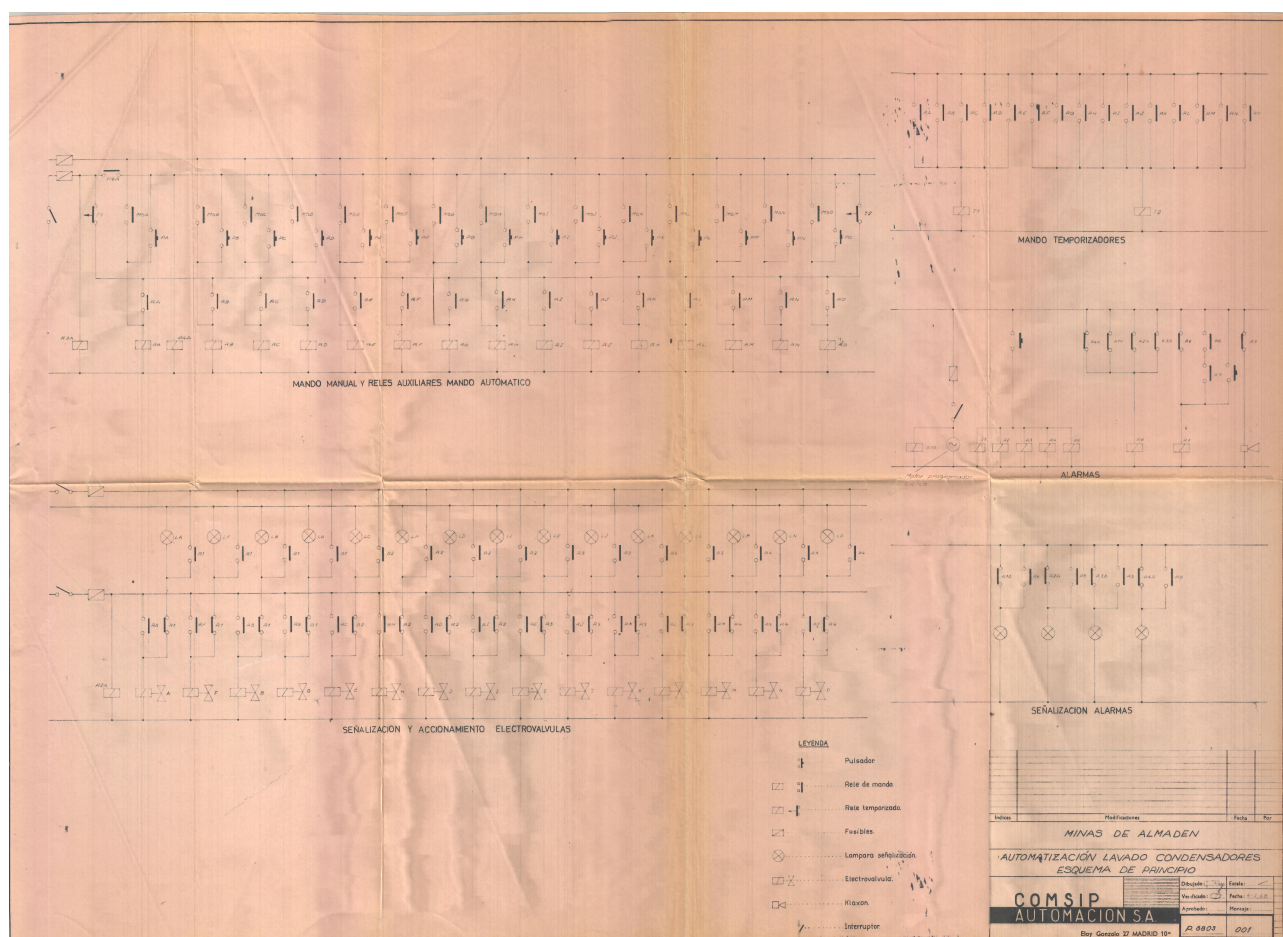


Figura 97: Detalle de automatización del lavado de condensadores. Esquema de principio. (1968)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

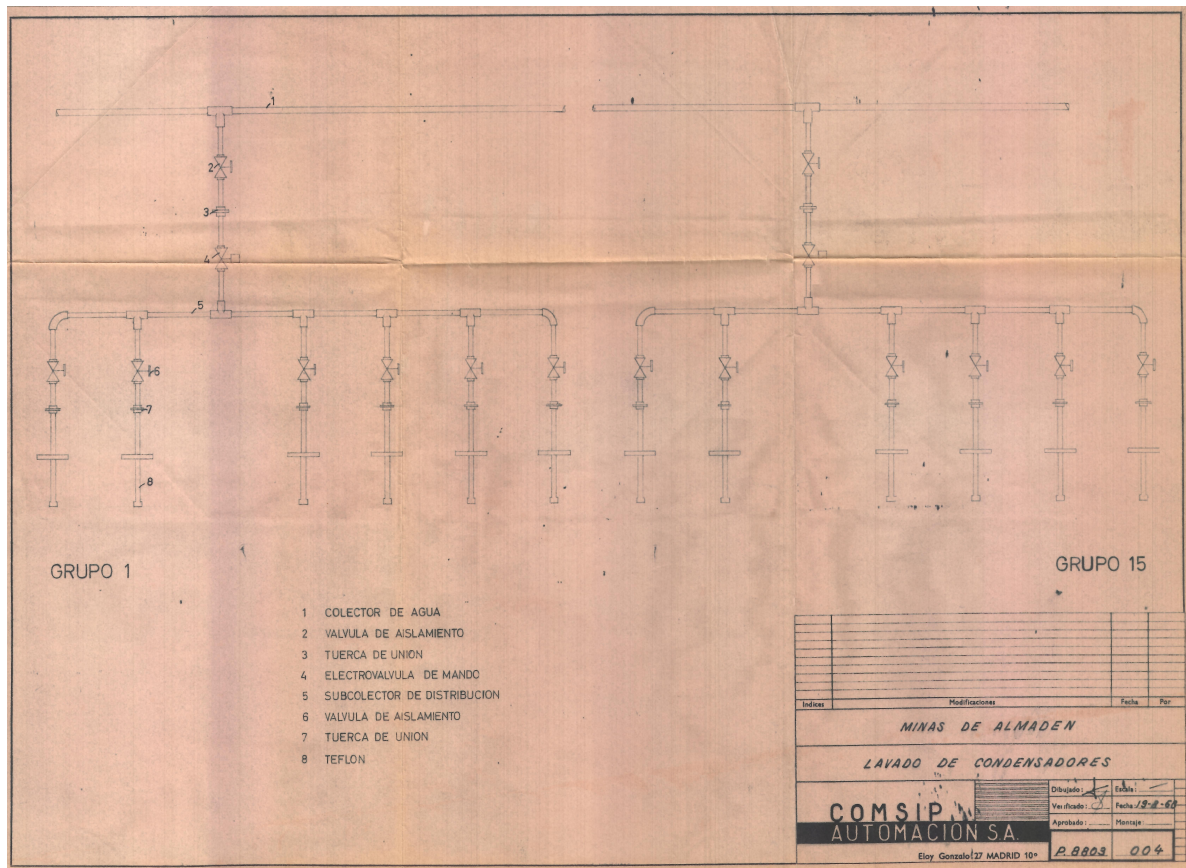


Figura 98: Detalle del lavado de condensadores (1968)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

Cuadro de Control

Cuadro de control de la nueva instalación

Estaría formado por 4 paneles para la regulación de los hornos de tal forma que cada panel se correspondería con un horno, y un quinto panel destinado al control de lavado de condensadores.

Se construiría en chapa de acero laminado en frío, sobre armadura de hierro con una base de perfil en U sobre la que reposaría una cabina cerrada con puerta lateral para su accesibilidad al interior. Sería estanca al polvo.

La distribución sería:

Panel 1: Regulación combustión horno 1

Panel 2: Regulación combustión horno 2

Panel 3: Lavado condensadores

Panel 4: Regulación combustión horno 3

Panel 5: Regulación combustión horno 4

Estos paneles estarían acoplados entre sí, formando un conjunto, el cual tendrá una superficie uniforme y lisa en toda su longitud. Estará provisto en su interior de 2 lámparas de 40W para su alumbrado.

En la siguiente figura se puede observar lo descrito.

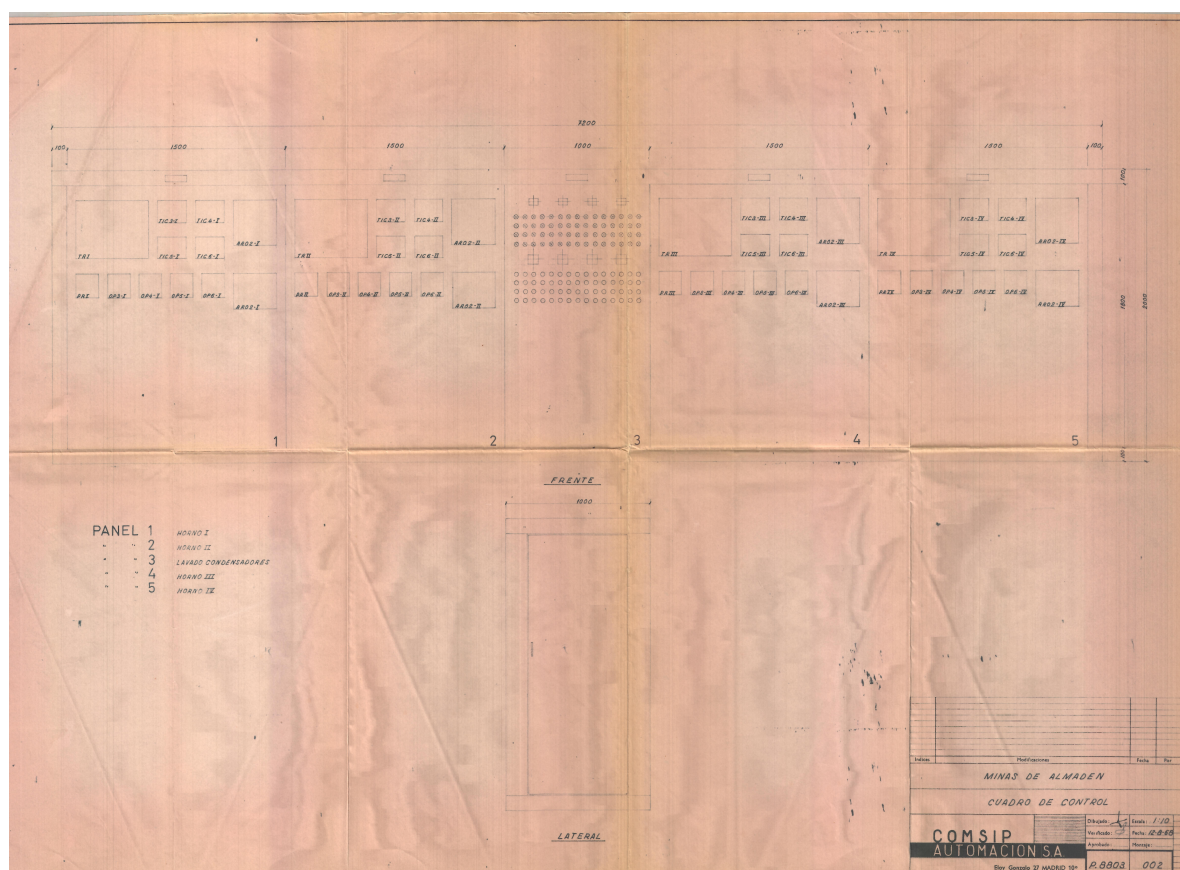


Figura 99: Cuadro de control (1968)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

Se realizarían por parte de la empresa pruebas neumáticas de estanqueidad y pruebas eléctricas de aislamiento y funcionamiento.

Puesta en servicio industrial

La primera unidad de condensadores y hornos necesitaría unos 6 meses de presencia en obra de un técnico instrumentista y un ayudante. La puesta en servicio de cada unidad siguiente, se realizaría a una media de 2 meses.

Los costes para este proyecto venían a ser los siguientes, generalizando para cada partida:

Hornos → 7.795.040 ptas. (46849.13 €)

Condensadores → 3.662.000 ptas. (22009.06 €)

Personal técnico → 482.000 ptas. (2896.88 €)

8.1.7. Aprovechamiento del calor de las escorias

8.1.7.1. Aplesa (1981)

En enero de 1981 la empresa **Aplesa** (Aplicaciones de la Energía, S.A., Madrid (España)) presentó un estudio de viabilidad para el aprovechamiento del calor contenido en las escorias de la planta metalúrgica de minas de Almadén.

Tras unas primeras impresiones, la empresa en cuestión vio factible el hecho de disminuir el consumo energético por tonelada de mineral tratado.

Las posibles medidas a tomar fueron:

- Reducción del exceso del aire de combustión, compatible con la temperatura requerida por el proceso metalúrgico.
- Aprovechamiento del calor sensible de las escorias.

- Aprovechamiento del calor sensible del aire procedente de refrigeración de la chimenea centro.
- Automatización y control de la combustión.

El estudio se trató exclusivamente de analizar las posibilidades de obtención de **aire caliente y agua caliente**.

Pasaremos a describir como se hicieron dichos análisis.

Valoración aproximada del calor sensible de las escorias

En esas fechas cada horno tenía una capacidad máxima de extracción de escorias de 130 T/día. Estas escorias salían del horno a unos 450°C. Su calor específico (Ce) era de 0,29 Kcal/Kg °C

El consumo de propano era de 21 Kg/T tratada.

El consumo horario de cada horno era según esto:

$$\frac{130 \text{ T producto}}{24 \text{ h}} \times \frac{21 \text{ Kg producto}}{\text{T producto}} \times \frac{11.400 \text{ Kcal}}{\text{kg propano}} = 1,296.750 \text{ Kcal/h}$$

El calor que se pierde con las escorias (temperatura ambiente de 20°C) sería:

$$\frac{130.000 \text{ Kg}}{24 \text{ h}} \times 0,29 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} \times (450 - 20) ^\circ\text{C} = 675.458 \text{ Kcal/h}$$

Lo que representaba el 52% del calor aportado por el propano.

Como la temperatura final de las escorias sería de 200°C, el calor recuperado sería de:

$$\frac{130.000 \text{ Kg}}{24 \text{ h}} \times 0,29 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C} \times (450-200) ^\circ\text{C} = 392.709 \text{ Kcal/h}$$

↓

34,45 Kg propano/h

Con un funcionamiento del horno de 225 días al año, el ahorro total supondría 186 T de propano que equivaldría a unos 5.000.000 ptas. (30050.60 €) Y teniendo en cuenta que eran 4 hornos, serían unos 20.000.000 ptas. al año (120202.40 € al año)

El alcance técnico de este estudio abarcaría los siguientes aspectos:

- Balance energético del horno en las condiciones de funcionamiento del momento.
- Análisis de los diferentes sistemas posibles de recuperación de calor de las escorias.
 - Intercambiadores escorias/aguas
 - Intercambiadores escorias/aire
- Análisis de la posibilidad de recuperación de calor del aire caliente procedente de la refrigeración del horno.
- Análisis de las posibilidades de mejora de los sistemas de automatización y control energético.
- Estudio de las posibles influencias en el proceso de las diferentes alternativas que se contemplan.
- Valoración económica aproximada de las diferentes alternativas, ventajas e inconvenientes de las mismas, y análisis de rentabilidad de las inversiones correspondientes en función del calor recuperado.
- Análisis comparativo de las diferentes alternativas e informe final sobre la viabilidad y grado de interés de las mismas.

Para saber la repercusión de cada una de estas alternativas era necesario hacer una toma de datos y así conocer bien la influencia en el proceso de las diferentes posibilidades de ahorro energético considerados.

Este estudio se llevaría a cabo contando con el personal cualificado que en dicho momento trabajara en la minas de Almadén y los medios necesarios que también aportaría la propia mina. Así como el suministro de información técnica necesaria: planos, transportadores, equipos de combustión, etc.

El presupuesto que la empresa Aplea presentó ascendió a la cantidad de 2.170.000 ptas. (13041.96 €)

Una vez estudiado el aprovechamiento del calor de las escorias para obtener aire caliente que se usaría como aire precalentado de combustión, en julio de ese mismo año, Aplea volvió a presentar un anexo a este estudio donde se analizaba con más detalle el aprovechamiento del calor de las escorias de las minas para calentar agua.

Para ello se llegaron a ciertas conclusiones que, tomando las medias oportunas, harían viable ese aprovechamiento.

El alto costo que suponían el cambio de los actuales silos de almacenamiento de escorias hizo que esta opción de cambio se desechara. Además, eso también suponía un cambio de toda la instalación de manipulación de las mismas.

Solo se podía efectuar un intercambio de calor en las tolvas de la escoria, aunque con bastantes inconvenientes para su aprovechamiento.

Se contemplaron tres posibles soluciones:

Aprovechamiento del vapor producido con el actual sistema de enfriamiento

Inconvenientes:

- Arrastre de polvo de sílice: podría reducirse a base de condensar el vapor y obtener gua caliente en un acumulador.
- Al obtenerse el vapor de riego directo de la escoria la presión del mismo es la presión atmosférica más el tiro de la chimenea correspondiente, lo cual imposibilita en la práctica su traslado por medio de una tubería conducida.
- El vapor llevaría consigo una cantidad tan grande de aire que obligaría a una desgasificación absoluta para evitar los problemas de corrosión. Se podría evita esto haciendo estanca la tolva, pero sería inviable económicamente.

Obtención de agua caliente mediante riego de las paredes exteriores de las tolvas

Inconvenientes:

- La tolva no estaba diseñada para este funcionamiento, por lo que aparecería rápidamente corrosión y evitar la corrosión supondría demasiados gastos extraordinarios.
- Como la mayor parte de calor intercambiado era por conducción pared de la tolva-agua y escoria-pared de la tolva, la transferencia de calor global era muy baja debido a la heterogeneidad de la escoria en cuanto a su granulometría.
- El consumo de agua sufriría un gran aumento como consecuencia de la evaporación a la atmosfera de gran parte del agua calentada. Esto podría reducirse forrando con un camisa metálica toda la tolva, pero volverían a tenerse problemas de corrosión.

Obtención de vapor flash

Inconvenientes:

- Al manejar fluidos con alto contenido en sílice, todos los equipos deberían tener resistencia a la abrasión, lo que supone un alto coste económico.
- Sería muy complicado mecánicamente conseguir un cierre perfecto en la zona de descarga de la tolva para minimizar las pérdidas de agua.
- Habría que presurizar la tolva para disminuir los escapes de vapor flash por la chimenea de la tolva.
- Difícil de controlar las características del vapor y su caudal.

En las figuras siguientes pueden verse los esquemas realizados para cada una de las tres posibles soluciones mencionadas.

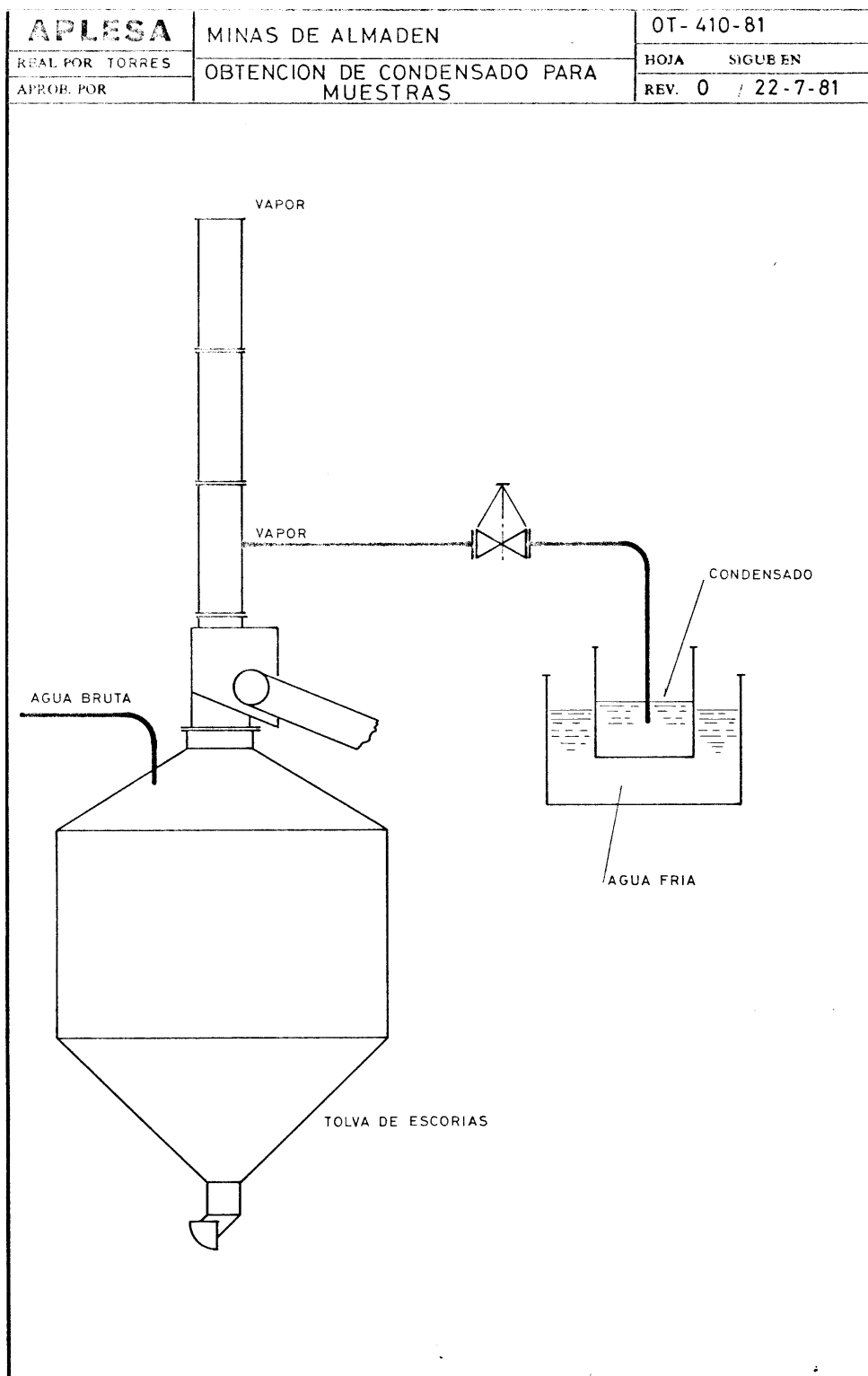


Figura 100: Esquema de la obtención de condensado para muestras
Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

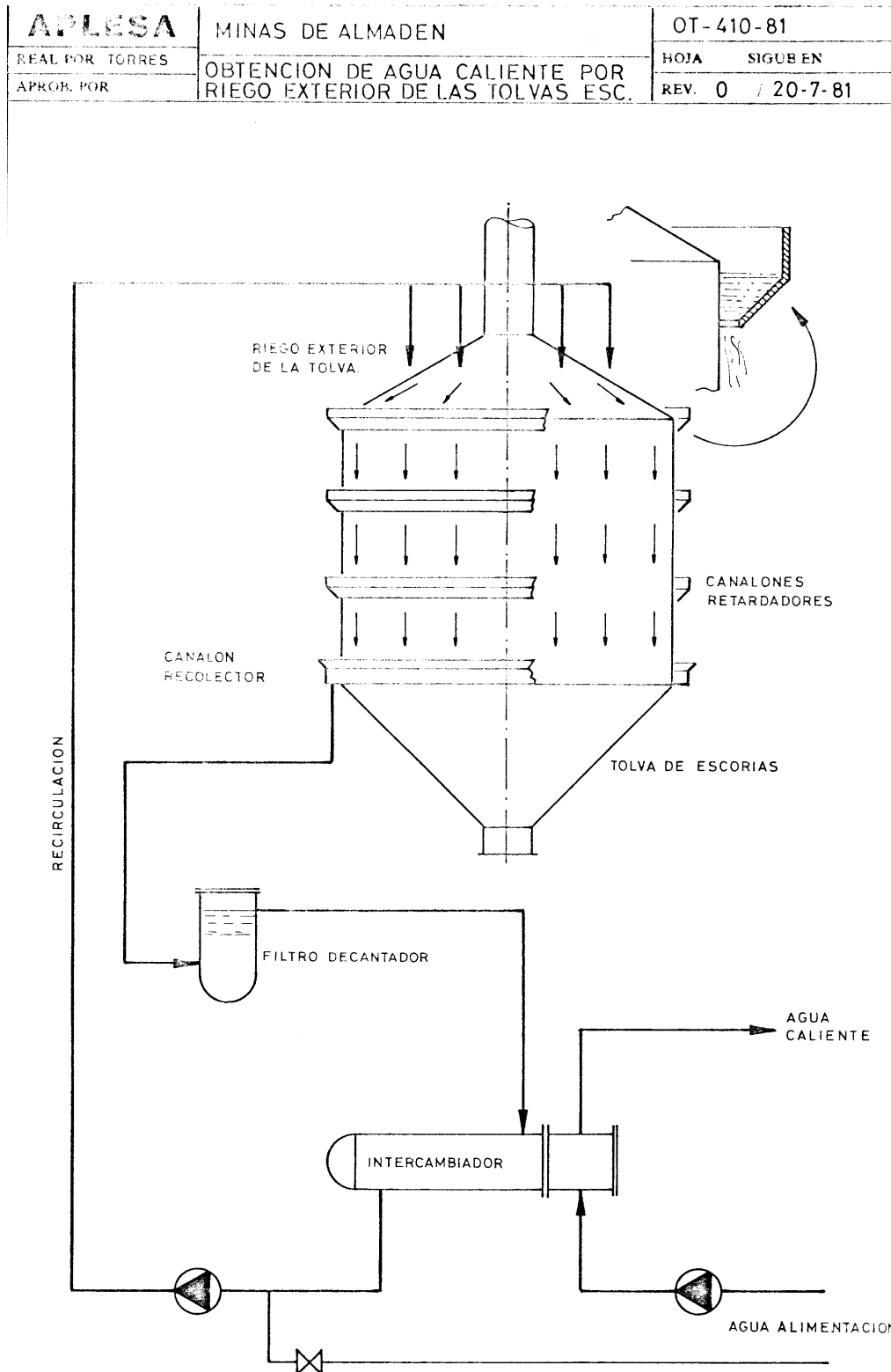


Figura 101: Esquema obtención agua caliente por riego de las tolvas
Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

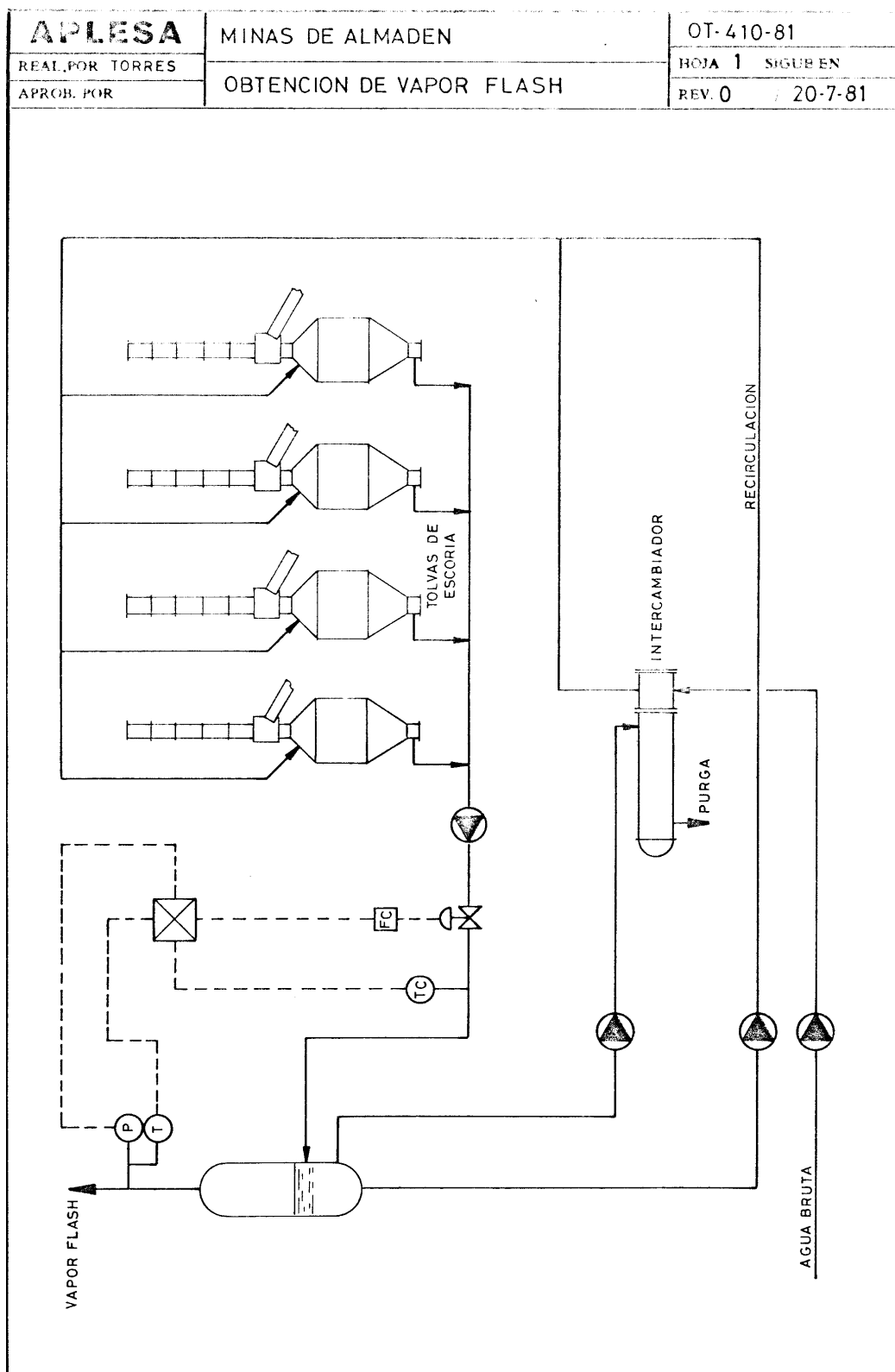


Figura 102: Obtención de vapor flash

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

8.1.8. Tratamiento de aguas residuales

8.1.8.1. Ingeniero de caminos Alfonso Álvarez-Cienfuegos (1990)

Fue este ingeniero quien en el mes de enero del año 1990 presentó una memoria para el tratamiento de la aguas residuales vertidas en las instalaciones de MAYASA en las minas de Almadén.

La presentación de dicho proyecto se necesitaba con cierta urgencia ya que la Confederación Hidrográfica del Guadiana lo necesitaba para acometer obras.

En la fecha en la que nos situamos, existía una estación de tratamiento que estaba fuera de servicio ya que esa misma iba a ser sometidas a ampliaciones y mejoras.

Se trataba de depurar los vertidos procedentes del proceso de metalurgia y que eran conducidos a cauces superficiales.

Había que considerar pues:

- Aguas del circuito de condensación del mercurio.
- Aguas del enfriamiento de escorias.
- Aguas procedentes del tratamiento de hollines.
- Aguas del lavado del túnel y del patio de los hornos I y II.
- Aguas procedentes de la metalurgia secundaria que se originan en el complejo industrial del Entredicho.

Cada una de estas aguas recibía un tratamiento diferenciado y sólo se mezclaban cuando así convenía el proceso.

Aguas del circuito de condensación del mercurio

Los tubos donde condensaba el mercurio se regaban interiormente a intervalos regulares con agua, para limpiar la pared interior y arrastrar el mercurio condensado hacia una pila dispuesta al efecto en la parte inferior de la condensación.

El agua salía por un rebosadero a un canal y allí se recogía el mercurio depositado en unas arquetas. Esta solución pasaba a un tanque de recepción mezclador donde se le mezclaba dosificadamente la solución del tratamiento de hollines (que es de carácter básico), con la finalidad de neutralizar la acidez⁴² de la solución de condensación.

Esta mezcla se introducía a continuación en un decantador desde donde una bomba mohn⁴³ lo alimentaba a un filtro prensa, con el fin de eliminar los sólidos.

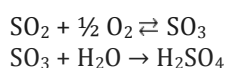
El agua neutralizada y filtrada era almacenada en un depósito pulmón desde dónde se bombeaba de nuevo a la condensación cerrándose así el circuito.

El balance de aguas es positivo ya que se recogía aquí toda la que acompañaba al mineral (menos la que satura las fases de tostación a 30°C) y que oscilaba entre 2, 5 y 5 m³/día según que estén uno o dos hornos en marcha.

El balance calorífico también es positivo por lo que es necesario enfriar la solución, disponiendo de un intercambiador de calor que elimine 1 o 2 millones de Kcal/h según que estén uno o dos hornos en marcha. El intercambiador de calor era del tipo placas, de acero inoxidable, refrigerado por agua que a su vez se enfriaba por corriente de aire a través de una continua lluvia.

El agua que sobraba se introducía en el circuito de tratamiento de aguas de metalurgia secundaria para su vertido posterior.

⁴² Esta solución es ácida porque el SO₂ presente en las fases de tostación del horno se oxida.



⁴³ Las bombas mohn o mono, o de tornillo o helicoidal o camisa y sinfín.

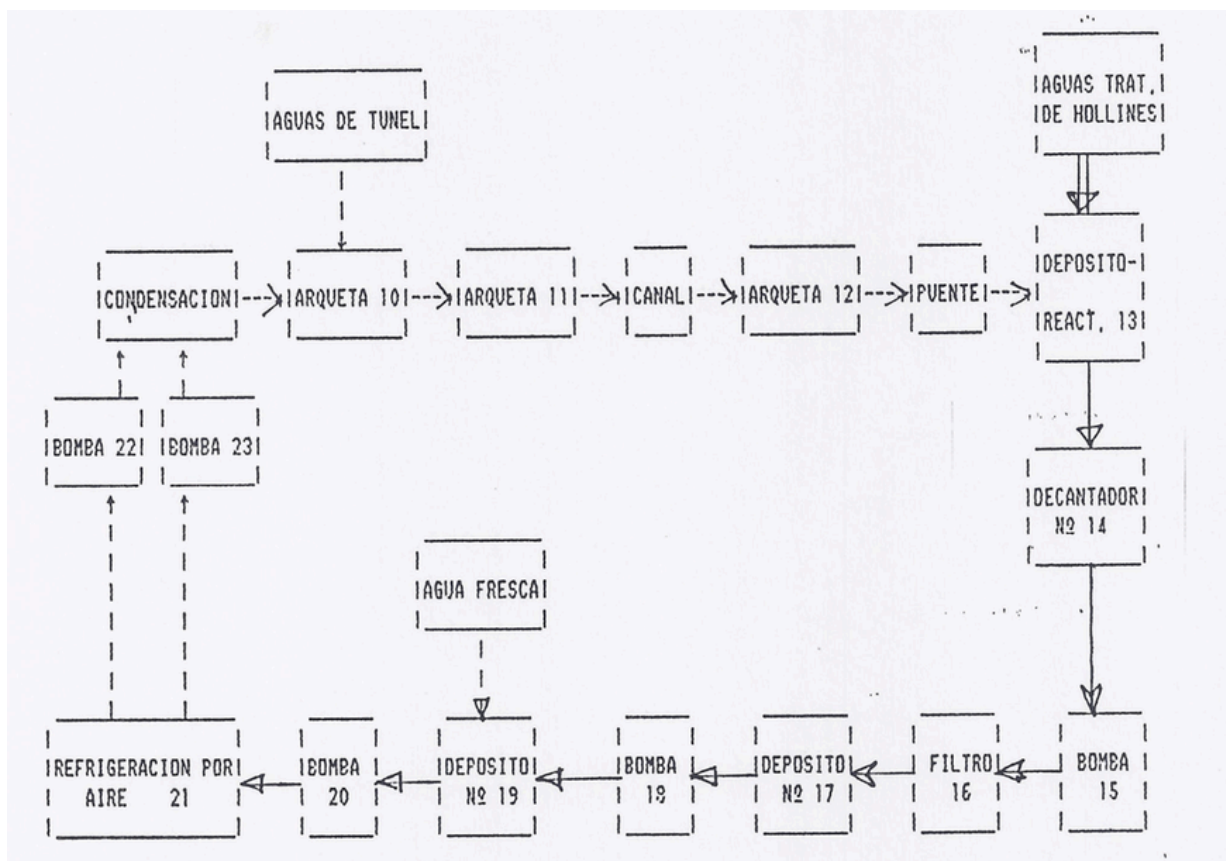


Figura 103: Hoja de flujo de las aguas de condensación (1990)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

Aguas del enfriamiento de escorias

Las escorias que abandonaban el horno se enfriaban usando agua. Este agua, que también estaba en un circuito cerrado, salía de las ollas de las escorias y se conducía a unas balsas donde decantaban el polvo que arrastraba, y de donde era bombeada de nuevo a un depósito pulmón para su reutilización.

En esta ocasión, el balance de agua es negativo, debido al agua evaporada al enfriar y al agua que la escoria absorbe. Es necesario añadir agua fresca continuamente. Del orden de 5 a 10 m³/día según que estén uno o dos hornos en marcha.

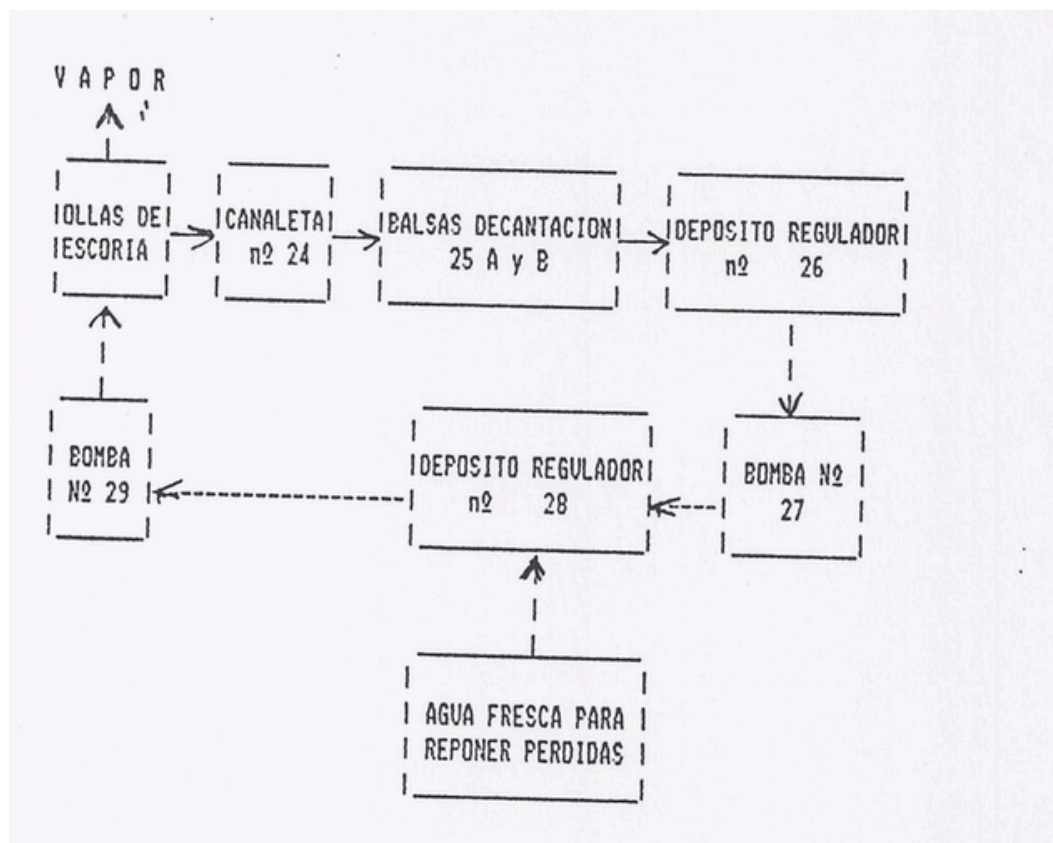


Figura 104: Hoja de flujo de aguas de apagado de escorias (1990)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

Aguas procedentes del tratamiento de hollines

Los hollines se trataban diariamente con una solución de Sulfuro Sódico (Na_2S) e Hidróxido Sódico (NaOH), como se ha descrito en el apartado de la recuperación de mercurio de los hollines, que debía neutralizarse antes de verterse. El volumen a tratar era de $1 \text{ m}^3/\text{día}$ con 2 g/L de NaOH y 10 g/L de Na_2S .

Un reactor dosificaba constantemente al depósito mezclador del tratamiento de condensación para neutralizar ambas soluciones entre sí, ya que el producto de las concentraciones por volúmenes de ambos líquidos coincidía con el que era necesario para su común neutralización. Por lo tanto, este volumen abandonaba la planta pasando previamente por la unidad de tratamiento de metalurgia secundaria junto con el exceso producido en el circuito de condensación.

El equipo constaba de un reactor donde llegaba la solución del tratamiento, una bomba que eleva el líquido a un depósito regulador desde donde se dosificaba por gravedad al depósito mezclador antes mencionado.

Agua de lavado de patios

Este agua se recogía en un túnel y se conducía hasta un tanque, desde donde se bombeaba al circuito general de condensación, con el fin de recoger el mercurio metálico que pueda arrastrar.

El equipo era muy simple y constaba de un tanque de 5 m³, una bomba mohn y las tuberías necesarias para conducir los fluidos.

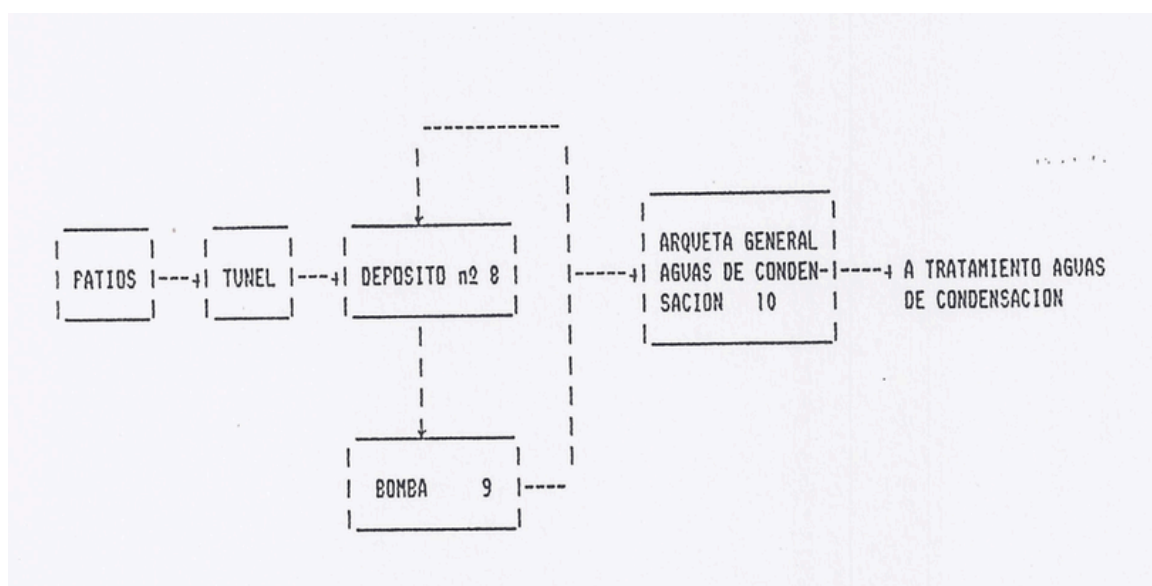


Figura 105: Hoja de flujo del agua de lavado y lluvias recogidas en los patios (aguas de túnel) (1990)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

Aguas procedentes de la metalurgia secundaria

Este agua procedía de la fabricación de ácido rojo⁴⁴ y también procederían de allí posibles residuos generados. Su contenido principal era $(\text{NO}_3)^-$ y Na^+ procedentes del lavado de gases nitrosos (N_2O) con hidróxido sódico (NaOH).



Si había tratamiento de residuos, su principal componente sería cloruro (Cl^{-1}), del orden de 10 g/L.

El objetivo del tratamiento era por un lado eliminar el posible óxido de mercurio (HgO) contenido en la solución y, por otra, el neutralizarlo. Para ello, se dispuso una planta de tratamiento previo en cada instalación con el fin de neutralizar y filtrar la solución, eliminando por tanto el mercurio contenido, antes de ser transportada para su disolución y vertido en la planta de aguas objeto de este proyecto.

El agua que llega en una cisterna de FVP⁴⁵, se introduce en un reactor dotado de agitación donde se ajusta el pH y se le añade sulfuro sódico (Na_2S) en disolución, con el fin de eliminar el posible mercurio residual que no se hubiera recogido en el filtrado previo que hemos comentado.

Se disponía de 3 depósitos de 1 m³ de capacidad que contenían hidróxido sódico (NaOH), ácido sulfúrico (H_2SO_4), y sulfuro sódico (Na_2S) respectivamente para ajustar el pH y precipitar el mercurio en solución como sulfuro insoluble.

⁴⁴ Se denomina “ácido rojo” al ácido nítrico fumante rojo llamado así por tener en su composición un mínimo de 10% en NO_2 . Existe también un ácido nítrico fumante blanco, que difiere del anterior en que su contenido en NO_2 es del cuando contiene 0,5% de NO_2 y no más de 2% de agua. El término “fumante” indica que la concentración de ácido nítrico en la disolución se encuentra por encima del 86%.

⁴⁵ Fibra de vidrio y cubierta polietileno.

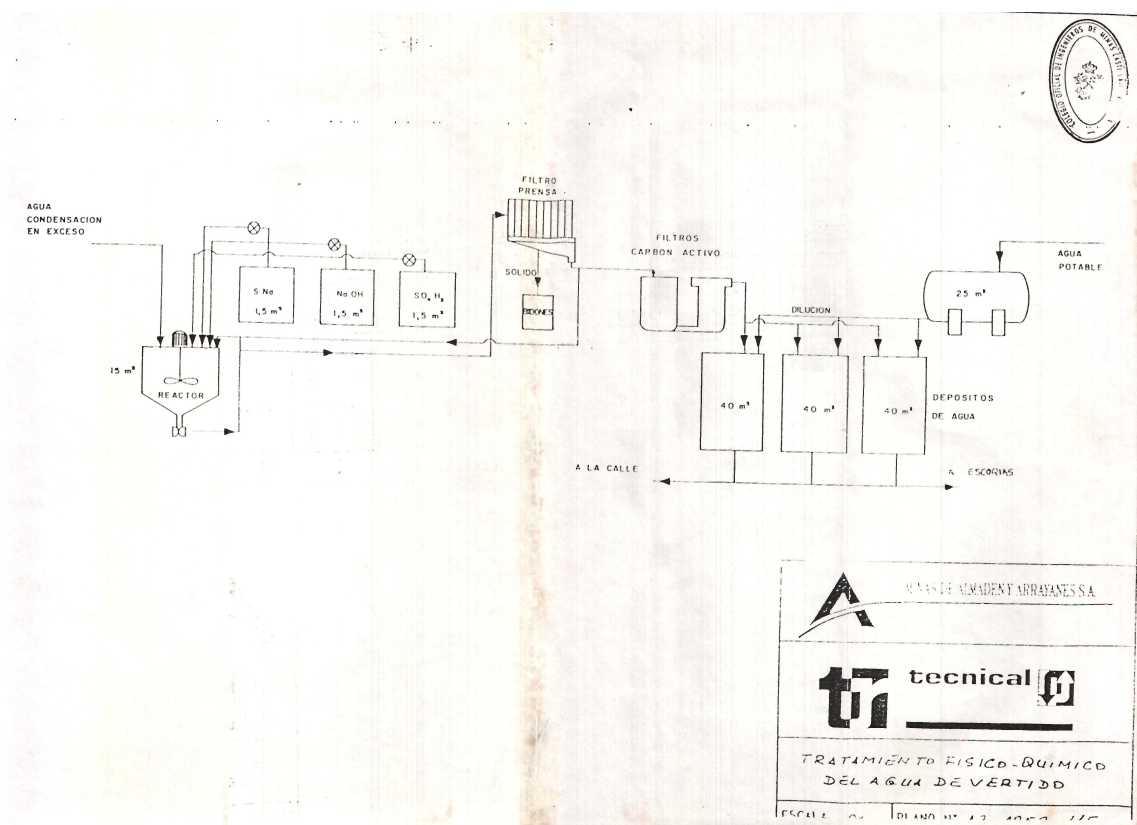
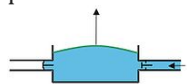


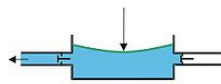
Figura 106: Esquema del tratamiento físico-químico del agua de vertidos
Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

Una vez acondicionada la solución, se filtraba a una bomba tipo membrana⁴⁶ y a un filtro prensa⁴⁷ desde donde la solución pasaba a los tanques de vertido.

⁴⁶ Es un tipo de bomba de desplazamiento positivo, generalmente alternativo, en la que el aumento de presión se realiza por el empuje de unas paredes elásticas —membranas o diafragmas— que varían el volumen de la cámara, aumentándolo y disminuyéndolo alternativamente. Unas válvulas de retención, normalmente de bolas de elastómero, controlan que el movimiento del fluido se realice de la zona de menor presión a la de mayor presión.



Bomba aspirando



Bomba impulsando

⁴⁷ El filtro prensa es un sistema de filtración por presión. Consiste en una serie de placas y marcos alternados con una tela filtrante a cada lado de las placas. Las placas tienen incisiones con forma de canales para drenar el filtrado en cada placa. Con capacidad de 0.5 a 300 pies cúbicos. Podemos encontrarlas en acero al carbón resistencia química o bien de acero inoxidable. Las lonas que cubren las placas son el corazón del filtro prensa. En los inicios, se utilizaba algodón con diferentes tipos de hilado para retener los sólidos en suspensión a tratar, pero en la actualidad, existen multitud de materiales en tejidos técnicos. Destacan principalmente tres compuestos en tejidos técnicos para la retención de partículas: el polipropileno (PP), el poliéster (PE) y la poliamida (PA), cuyo uso se determina por diversos factores, tales como temperatura y presión de trabajo.

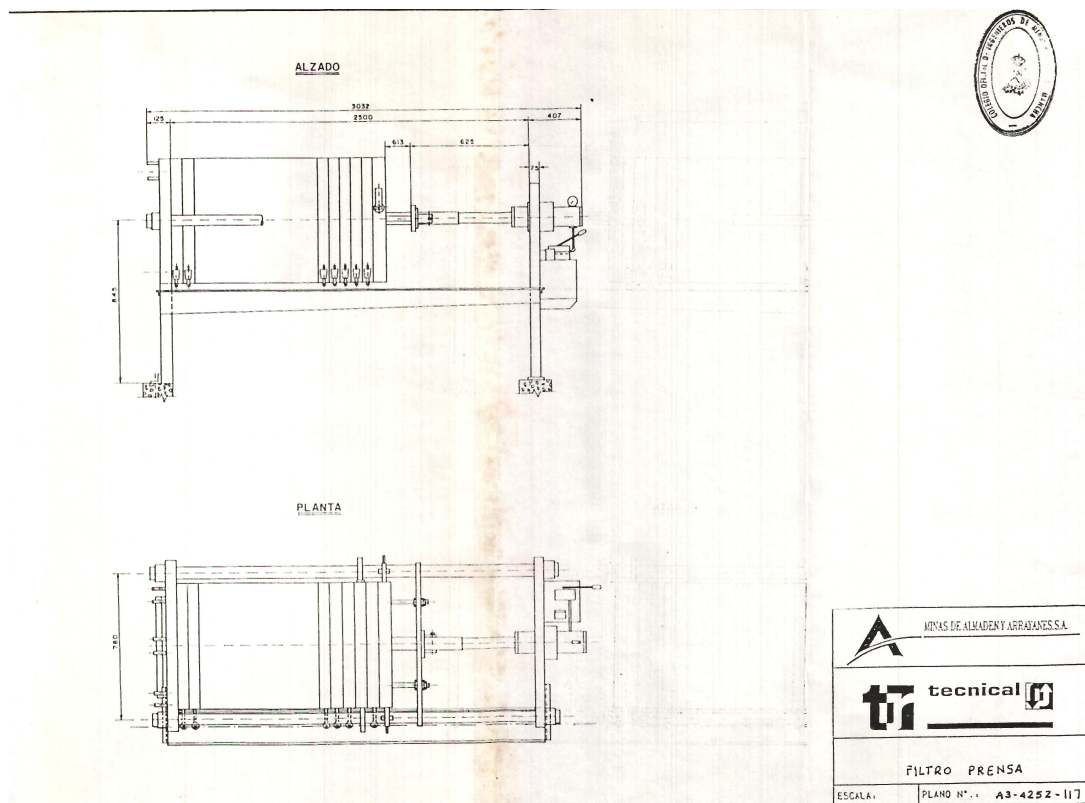


Figura 107: Esquema del filtro de prensa usado en las minas de Almadén
Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

Se instalaron 2 tanques de 25 m³ de capacidad para el vertido de las soluciones, mientras uno trabaja el otro se analizaba en el laboratorio para verificar que se cumplieran los niveles autorizados de vertido.

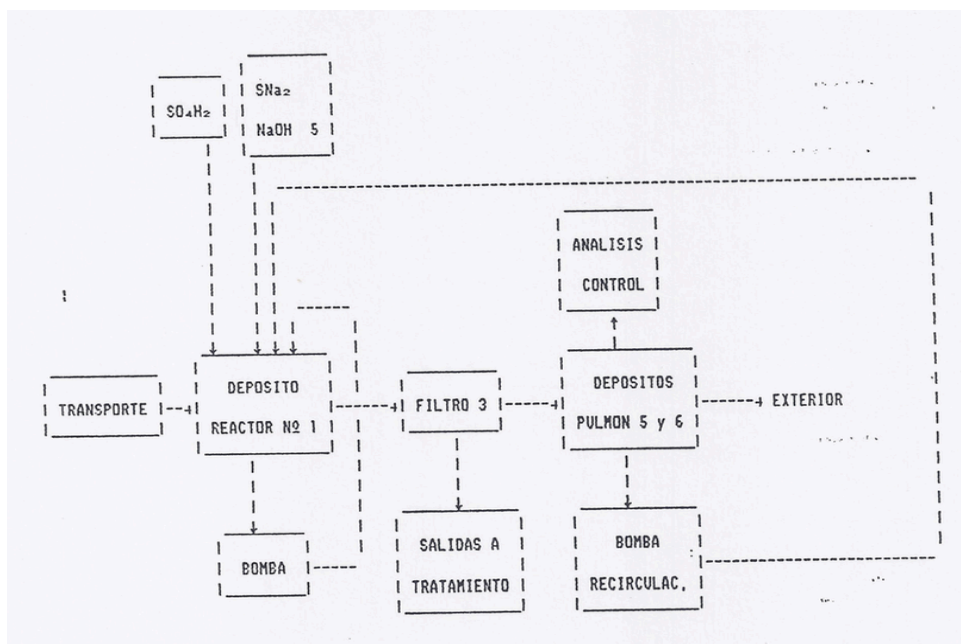


Figura 108: Hoja de flujo de aguas procedentes de ácido rojo (1990)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

En el momento de presentar este proyecto, todos los circuitos eran abiertos sin reciclaje alguno.

Las aguas de condensación tenían una concentración de mercurio que oscilaba entre 0,1 – 0,5 g/L, siendo su pH = 1. Según el número de hornos en funcionamiento, el caudal podría oscilar entre los 50 y 100 m³/día.

Con este proyecto se pretendía que este circuito estuviera cerrado, desapareciendo así los vertidos de las aguas de condensación.

Las aguas de tratamiento de hollines tenían una concentración de hidróxido sódico (NaOH) de 20 g/L, y de sulfuro de sodio (Na₂S) de 10 g/L siendo su pH = 14. Y un volumen de 1 m³/día.

Con la entrada en funcionamiento de la planta de aguas, este circuito desaparecería, al neutralizarse e incorporarse al circuito de condensación, eliminando así los vertidos.

Las aguas de escorias, con un caudal que podría oscilar entre los 300 y 600 m³/día según el número de hornos en funcionamiento, no llevaban mercurio en solución ni suspensión, pero arrastraban polvo de sílice (1 g/L).

Con la entrada en funcionamiento de la planta de aguas, este vertido desaparecería.

Las aguas de los patios que llevaban mercurio en suspensión procedente del lavado de derrames al suelo y que tenía un caudal de 1 m³/día, se incorporarían al circuito de condensación, por lo que este vertido desaparecería.

Las aguas de tratamiento de la metalurgia secundaria, con un caudal de 3 a 5 m³/día, pueden contener cloruros del orden de 5-15 g/L; nitratos en 5-20 g/L; mercurio sobre 0,5-1 g /L y nitritos también 0,5-1 g /L.

Una vez tratadas, el contenido de estos iones sería inferior a los establecidos por la legislación vigente que son definidos en el BOE del 30 de abril de 1986 y del 23 de noviembre de 1987.

Los valores máximos permitidos se muestran en la siguiente tabla⁴⁸:

⁴⁸ En la página 15536 del BOE del 30 de abril de 1986 se puede observar que en la tabla hay 3 tipos de valores límites permitidos. Estos datos que se han reflejado en la Tabla V, son los mas restrictivos de todos.

Tabla V: Valores máximos permitidos contenido en aguas de vertido

Fuente: Elaboración propia.

Agente	Contenido máximo del vertido
Hg	0,05 mg/L
Cl ⁻¹	2000 mg/L
S ⁻²	1 mg/L
SO ₃ ⁻³	1 mg/L
SO ₃ ⁻⁴	2000 mg/L
Nitrógeno nítrico	10 mg/L
pH	5,5 – 9,5
Sólidos en suspensión	80 mg/L
Materias sedimentables	0.5 mg/L
Sólidos gruesos	Ausentes
D.B.O. 5 *	40 mg/L
D.Q.O. **	160 mg/L
Temperatura	3°C

Parámetros con los que se mide la materia orgánica biodegradable:

*D.B.O.5: Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días

** D.Q.O.: Demanda Química de Oxígeno

El presupuesto de ejecución material de las obras y equipos proyectados ascendía a la cantidad de 29.724.932. ptas. (178650.41 €)

En la siguiente figura se puede ver el detalle del plano de situación de las instalaciones.

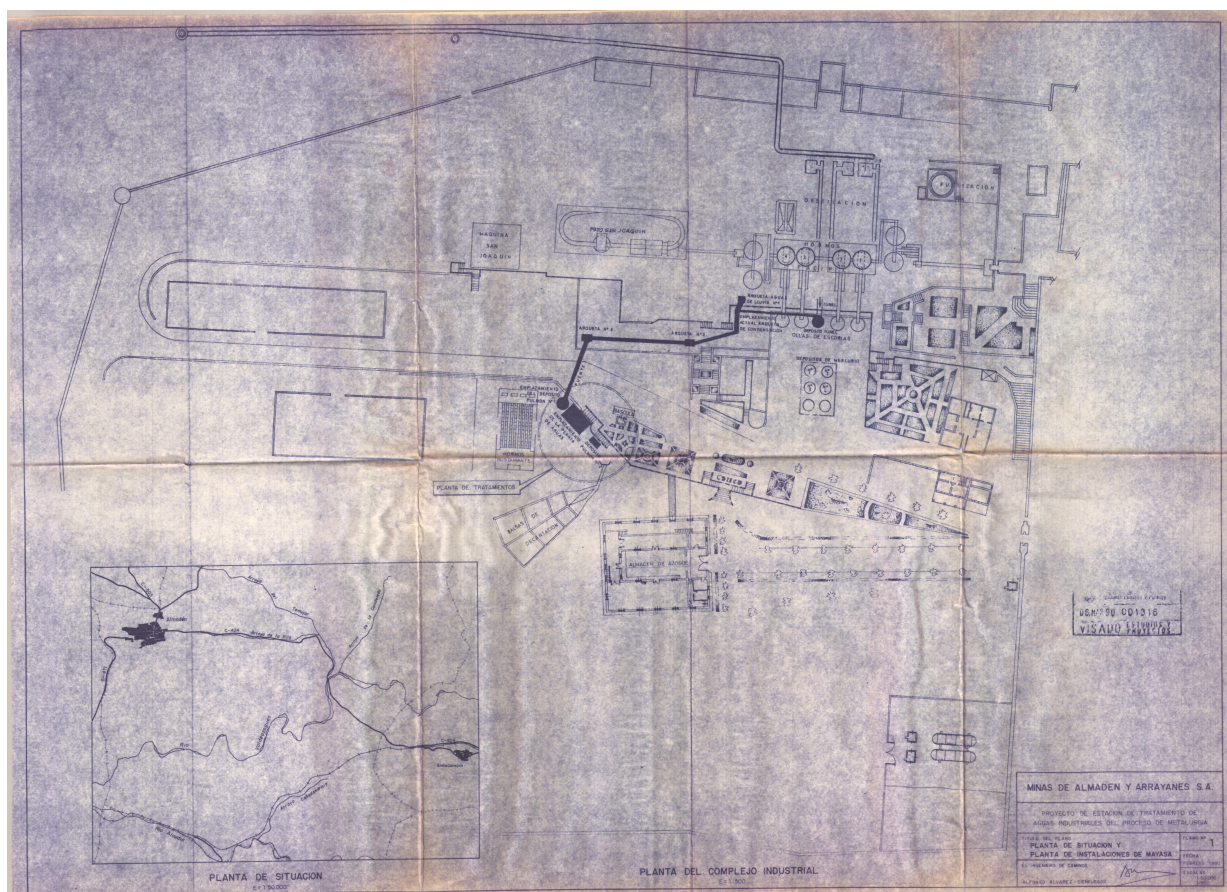


Figura 109: Detalle de planta de situación y planta de instalaciones de MAYASA (1990)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

8.1.9. Desulfuración de Gases

En un principio, los gases de cada horno, impulsados por una soplante situada en cola de la condensación, pasaban por una torre con rejillas de madera, donde los gases se lavaban con un riego de agua en contracorriente, saliendo a la atmósfera a través de una chimenea.

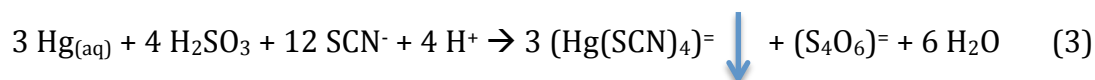
Posteriormente, en los primeros años de la década de los 70, se condujeron todos los gases a una única chimenea de 30 m de altura, por medio de un colector de fibra de vidrio y poliéster.

Más tarde, años después, este dispositivo se suprimió y se sustituyó por torres de relleno en fibra de poliéster para lavado de los gases, colector de gases y chimenea adosada al castillete del pozo San Joaquín.

Hubo otra posterior modificación en la que se cambió el relleno de las torres en fibra de poliéster por relleno de anillos Rasching⁴⁹.

En cada torre había una solución de lavado, que permitía depurar el mercurio vapor presente en el gas, hasta alcanzar una concentración media inferior a los 5 mg/Nm³ de gas, no superando en ningún momento el valor de 10 mg/Nm³.

Como solución de lavado se usaba tiocianato, agente capaz de facilitar la oxidación del mercurio del gas por el SO₂ que contiene. Las reacciones eran:



Aunque las reacciones que determinaban la fijación del mercurio del gas eran las que se acaban de expresar, se vio que cuando se había formado una cierta cantidad del complejo $(\text{Hg}(\text{SCN})_4)^-$ la reacción (3) tenía lugar según 2 etapas bien definidas:

⁴⁹ Los anillos de Raschig (llamados así en honor a su inventor, el químico alemán Friedrich August Raschig) son piezas de geometría tubular cuyo diámetro es aproximadamente igual a su longitud y que se emplean como relleno para columnas en procesos de destilación y en otros procesos químicos ingenieriles.

Generalmente se fabrican con material cerámico o metálico y poseen una elevada superficie específica, lo que facilita la interacción entre una fase líquida estacionaria y una fase móvil gaseosa.

Los anillos de Raschig conforman lo que se conoce como relleno aleatorio, y el propio Friedrich Raschig logró llevar a cabo con ellos destilaciones mucho más eficientes que las que se conseguían empleando columnas de platos para destilación fraccionada.

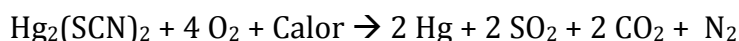


Anillos Rasching



De forma que la reacción ocurría con mayor rapidez cuanto mayor era la concentración de mercurio en solución, siempre que la reacción (3.2) sea suficientemente rápida para consumir el $\text{Hg}_2(\text{SCN})_2$ producido. De otra manera, se alcanza el equilibrio en la reacción (3.1), que junto con el de la (1), da lugar a que no se pueda bajar de un determinado valor de concentración de mercurio de gas. La adición de carbón activo en polvo a la solución de tiocianato, conseguía acelerar la reacción (3.2) de forma que la velocidad determinante de la reacción global (3) sea la de la (3.1), evitando la formación de $\text{Hg}_2(\text{SCN})_2$ insoluble.

El mercurio precipitado en forma de $(\text{Hg}(\text{SCN})_4)^-$ se separaba periódicamente en forma de lodo en un filtro prensa, peletizándose con cemento en hormigonera junto con el resto de productos (polvo de filtro de mangas y de ciclón, hollines y lodos de tratamiento de aguas). Al cargarse esos pellets en el horno se comportaban según la reacción:



Ya en un Proyecto Técnico realizado en el año 1992 donde se describía la instalación de la planta, se mencionaba la posibilidad de tratar los gases con otro tipo de solución de sales de mercurio que captaran el mercurio metal, dando un compuesto insoluble y, por tanto, recuperable de la solución, como en el caso anterior.

8.1.9.1. Auma. Consultores en Medio Ambiente y Energía S.L. (2002)

En abril del año 2002, por encargo de Minas de Almadén y Arrayanes, la empresa Auma (Barcelona, España) emitió un proyecto para la instalación de una planta de desulfuración de gases de la Planta de Metalurgia Primaria para el tratamiento y recuperación de Mercurio de los productos que contienen este metal.

La solución adoptada en este proyecto estaba centrada en los siguientes puntos:

- Aspectos técnicos:
 - Descripción del proceso y de la instalación. Adaptación a los parámetros de la metalurgia primaria.
- Aspectos ambientales:
 - Reducción significativa del impacto ambiental producido por la emisión de SO_2 mediante la aplicación de medidas correctoras que consistían en:

Reducir la emisión del dióxido de azufre mediante un tratamiento de los gases por vía húmeda con lechada de hidróxido cálcico (Ca(OH)_2).

Asegurar la fijación del dióxido de azufre en el producto final resultante del proceso de desulfuración, como sulfato cálcico (CaSO_4).
 - Consumo de materias primas, agua y energía.
 - Reutilización en el proceso de los efluentes líquidos producidos.
 - Residuos sólidos producidos, para su disposición en depósito controlado.

Esta planta de desulfuración se proyectó para que fuera colindante a la planta de metalurgia primaria ya existente, de tal manera que así solamente habría que ampliar la licencia de actividad que ya se poseía.

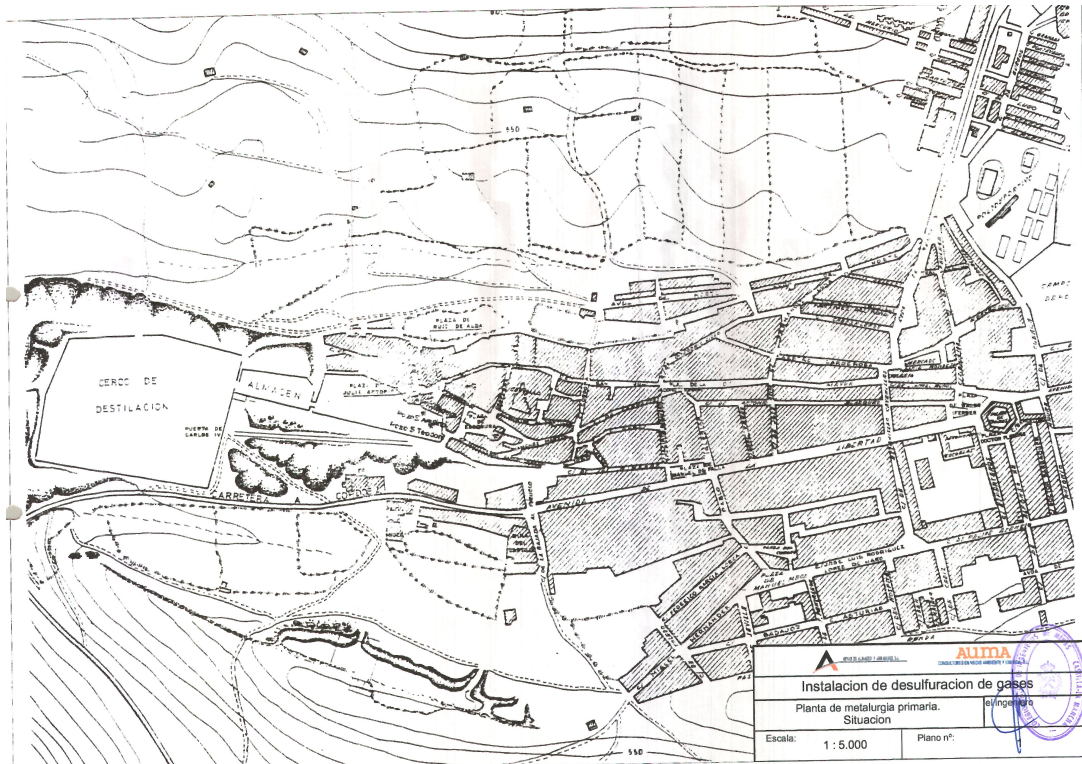


Figura 110: Instalación de desulfuración de gases. Plano de situación (2002)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

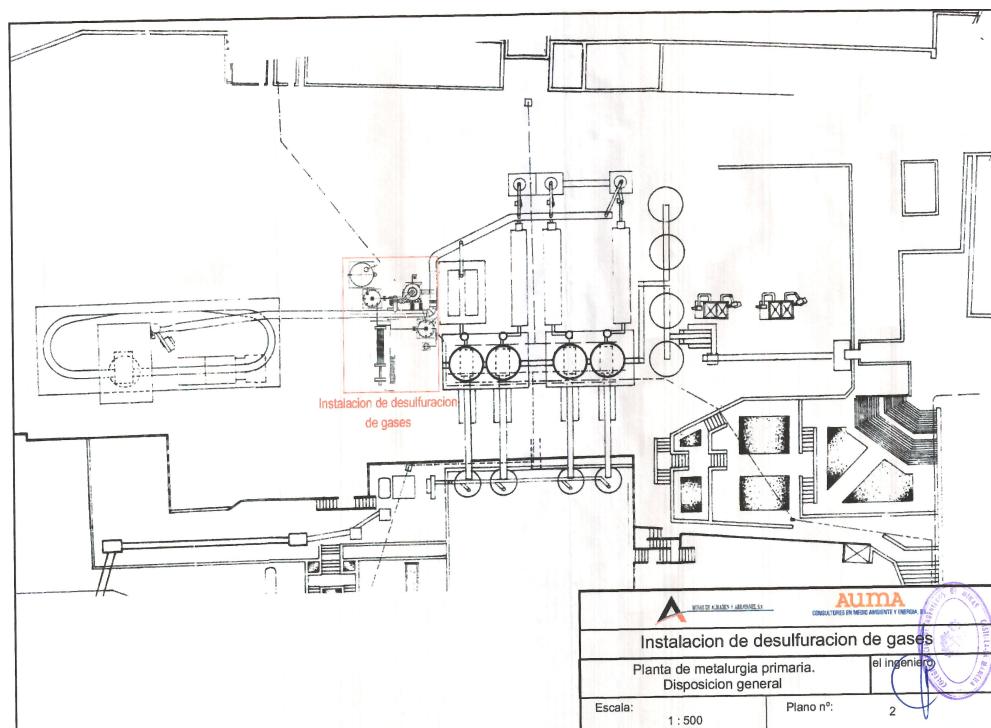
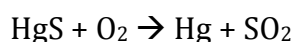


Figura 111: Instalación de desulfuración de gases. Disposición general (2002)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

Junto con los gases de mercurio en el proceso de tostación, se emitían también otros gases correspondientes fundamentalmente a los gases de la combustión que genera el calor necesario para tostación. A ellos se incorporaba el dióxido de azufre (SO₂) procedente de la tostación del cinabrio, que junto a otras formas de mercurio, puede contener el mineral, de acuerdo con la reacción:



Adicionalmente también se incorporaban a los gases de combustión partículas arrastradas en el proceso.

De cada horno los gases de tostación eran conducidos al condensador donde se separaba el mercurio y posteriormente a una torre de lavado para separar partículas. Se disponía de 3 torres de lavado de 6m de altura y 2m de diámetro, construidas en poliéster, y un relleno constituidos por anillos Rasching, como se comentó al principio. El lavado se efectuaba fundamentalmente con agua.

Tras ello, los gases lavados conservaban una pequeña proporción de mercurio y de partículas, pero no se producía reducción apreciable en su contenido de SO₂.

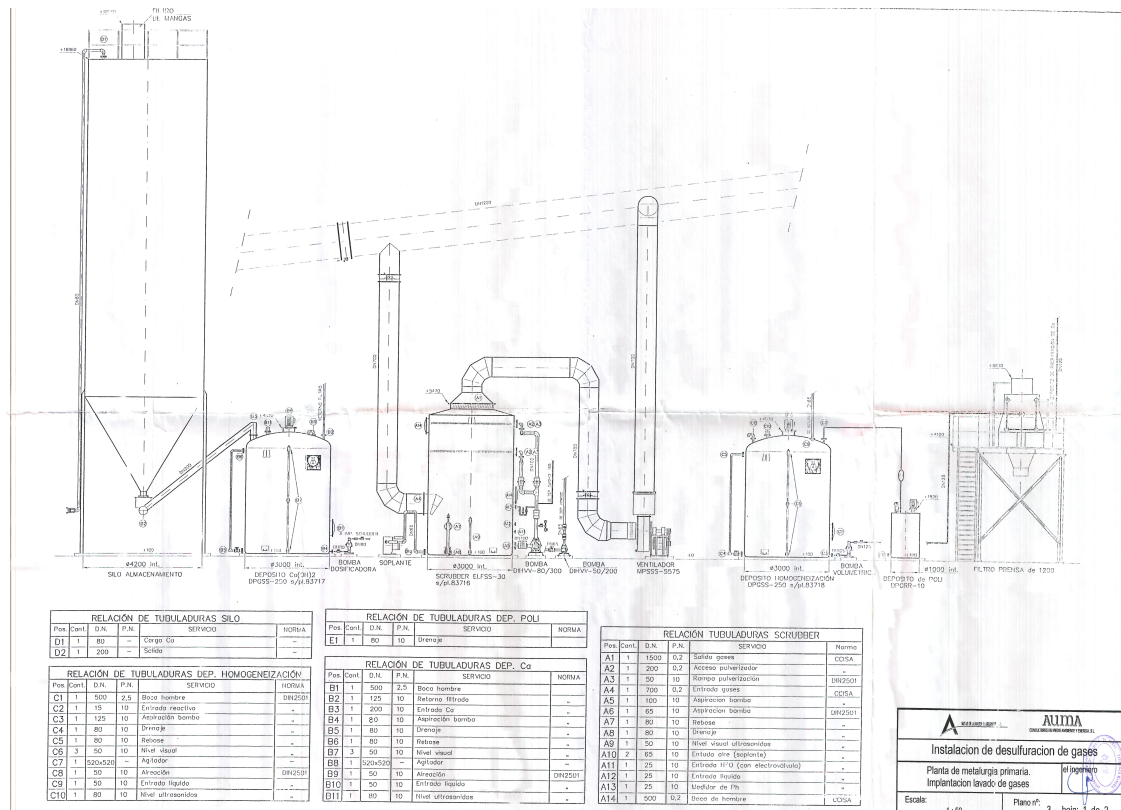


Figura 112: Instalación de desulfuración de gases. Implantación del lavado de gases (1 de 2) (2002)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

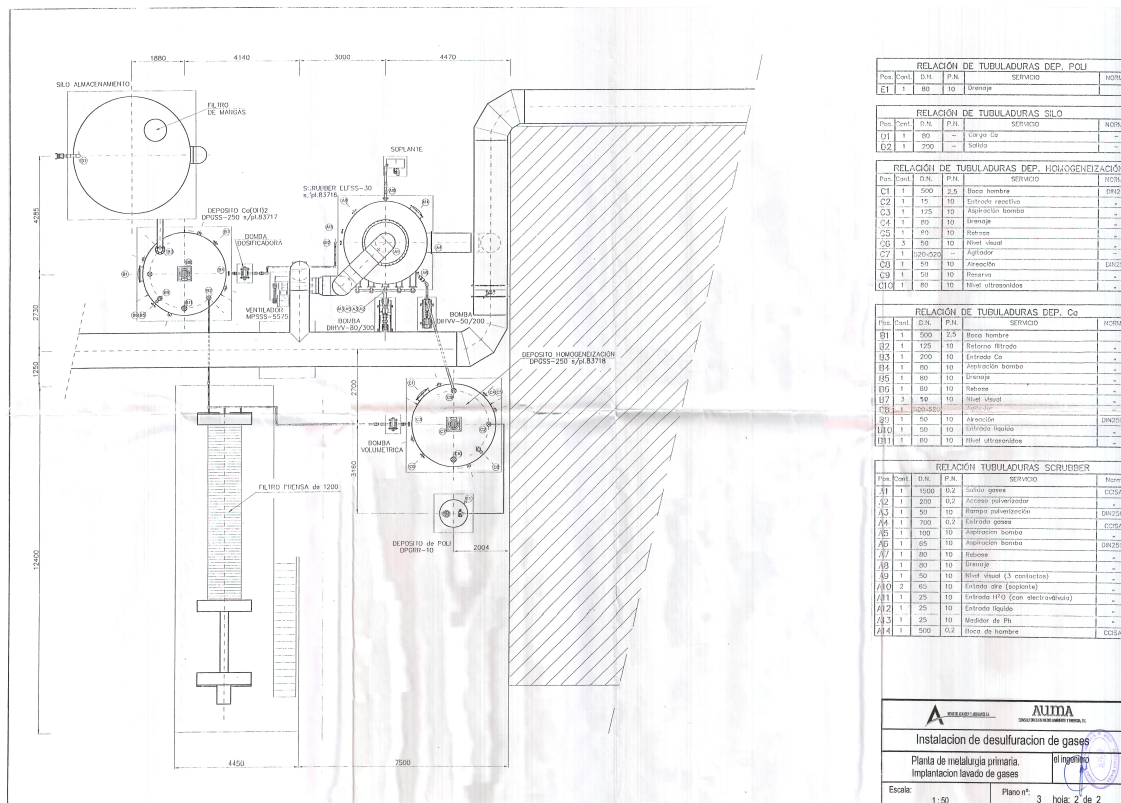


Figura 113: Instalación de desulfuración de gases. Implantación del lavado de gases (2 de 2) (2002)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

El contenido en óxidos de azufre de los gases depende del mineral tratado en el proceso de la metalurgia. El mineral tratado en ese momento por Minas de Almadén presentaba un contenido en azufre del 4,35%. Esto suponía unas emisiones con altos contenidos en óxidos de azufre que podrían superar los límites establecidos.

Con el sistema previsto en este proyecto se pretendía reducir el contenido de SO₂ de los gases que salían de la torre de lavado antes de ser emitidos a la atmósfera para cumplir con los requisitos exigidos.

La cantidad de mineral a tratar era de 80.000 T que era el mineral extraído y acopiado en esas fechas.

La metalurgia operaría con 2 hornos en funcionamiento simultáneo, lo que conllevaba una capacidad de 200 T/día. Suponiendo una operación continua de 8.000 h/año, el período de funcionamiento de la instalación sería de unos 16 meses.

Las distintas tecnologías de desulfuración consideradas por Minas de Almadén y Arrayanes previas a este proyecto fueron:

- Aspectos técnicos:
 - Viabilidad técnica de operación y mantenimiento, cumpliendo los requisitos de adaptación a la metalurgia primaria y a los resultados exigidos de desulfuración así como la fiabilidad y disponibilidad de cada una de las alternativas propuestas.
- Aspectos económicos:
 - Costes de inversión, de operación y de mantenimiento.
- Aspectos ambientales:
 - Reducción significativa del impacto ambiental producido por la emisión de SO₂.
 - Consumo de agua.
 - Disposición de residuos sólidos o líquidos.

Las alternativas analizadas fueron las siguientes:

Vía Húmeda

1. Tratamiento con NaOH y cristalización del efluente líquido contenido.
2. Tratamiento con doble álcali (lavado con NaOH y tratamiento del efluente líquido con $\text{Ca}(\text{OH})_2$, seguido de filtración del producto precipitado).
3. Tratamiento con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o con CO_3Ca .
4. Tratamiento con peróxido de hidrógeno (H_2O_2).

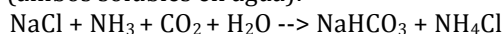
Vía Seca

5. Tratamiento mediante inyección de bicarbonato sódico (NaHCO_3) (método Neutrec de Solvay)⁵⁰.
6. Tratamiento mediante doble absorción de SO_2 con carbón activo (método Sistema MaC-100 de Monsanto)⁵¹.
7. Tratamiento mediante catalizador $\text{CS}_2/\text{H}_2\text{S}$. Proceso de conversión del SO_2 en ácido sulfúrico mediante una reacción catalítica (Proceso Regesox).

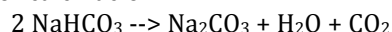
La alternativa que se seleccionó fue por vía húmeda con NaOH en base a :

- Elevado rendimiento de desulfuración.

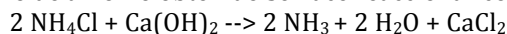
⁵⁰ El método Solvay es un proceso químico utilizado para la fabricación de carbonato de sodio a nivel industrial. Haciendo pasar amoníaco y dióxido de carbono (en estado gaseoso los dos) por una solución saturada de cloruro de sodio se forma hidrogenocarbonato de sodio y cloruro de amonio (ambos solubles en agua):



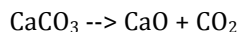
El hidrogenocarbonato de sodio se separa de la solución por filtración y se transforma en carbonato de sodio por calcinación:



El cloruro de amonio obtenido se hace reaccionar con hidróxido de calcio y se recupera amoníaco:



El óxido de calcio se produce en la misma fábrica por calcinación de carbonato de calcio (piedra caliza) y así se produce el dióxido de carbono necesario en la primera reacción:



⁵¹ El proceso de Monsanto es un importante método para la fabricación de ácido acético por carbonilación catalítica de metanol. Este proceso se desarrolla a un presión de 30 a 60 atm y una temperatura de 150-200 °C y ofrece una selectividad mayor del 99%. Fue desarrollado por la compañía alemana BASF en 1960 y mejorado por Monsanto en 1966, que introdujo un nuevo sistema catalizador.

- Compatibilidad con la instalación existente.
- Producción únicamente de residuos sólidos en cantidad aceptable.
- Costes totales elevados pero dentro de los límites asimilables.

El alcance de este proyecto contempla ala instalación de:

- Equipos de absorción.
- Equipos de descarga, almacenamiento, etc. y preparación del $\text{Ca}(\text{OH})_2$.
- Equipos de homogeneización y filtro prensa para la solución resultante del proceso de lavado.
- Sistemas auxiliares: tuberías, accesorios de líquidos y gases, ventilación e instrumentación de control.

El diagrama del proceso de desulfuración de gases es el que se muestra en la siguiente figura:

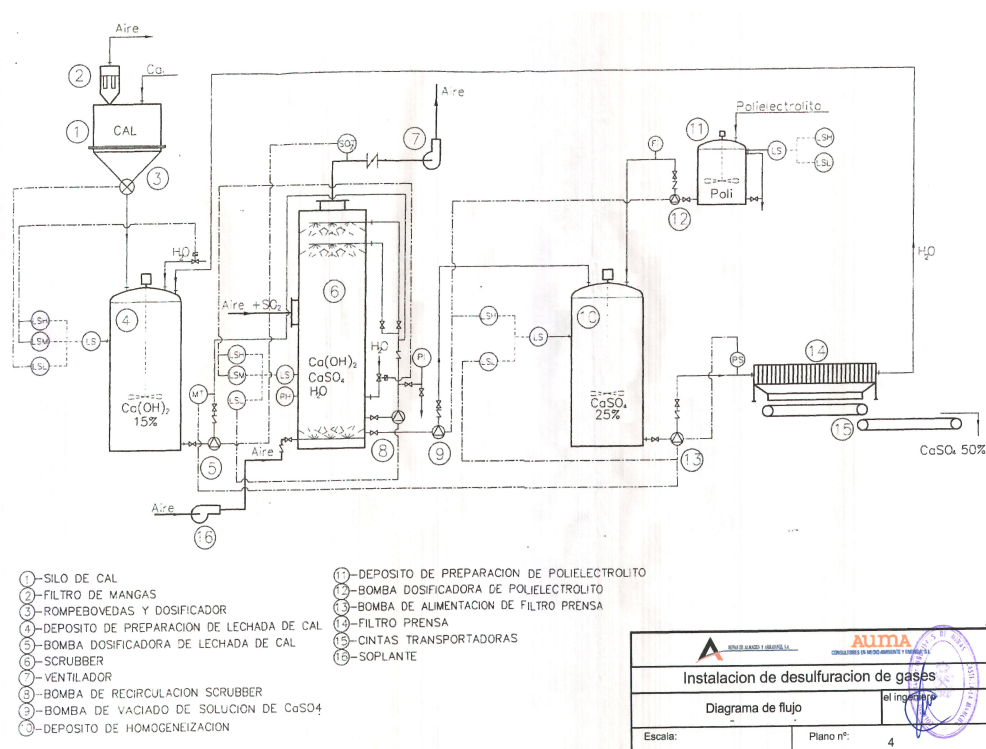


Figura 114: Instalación de desulfuración de gases. Diagrama de la instalación de desulfuración de gases (2002)

Fuente: Archivo Histórico Fundación Almadén "Francisco Javier de Villegas"

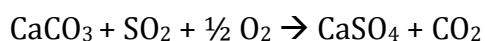
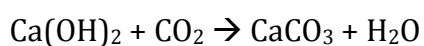
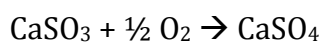
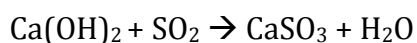
La instalación consistía en un scrubber vertical sin anillos de relleno con 2 rampas de pulverización que al generaba un estado de turbulencia que favorecía el contacto gas-líquido y por lo tanto, la absorción mediante la recirculación con una bomba centrífuga del líquido de lavado.

El líquido empleado para la absorción del SO₂ era una solución de hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) al 15%, produciéndose sulfato de calcio (CaSO₄), cuyas características hacen que no fuera posible usar una torre de relleno clásica, que los pulverizadores a emplear fueran helicoidales para evitar su obturación y que se dispusieran bocas de registro y tramos desmontables para limpieza en equipos y tuberías.

Existía también una red de difusores porosos en el fondo de la torre para inyectar aire oxidando así el CaSO₃ inicialmente obtenido, para producir CaSO₄ e impedir al mismo tiempo la deposición del CaSO₄ formado.

Debido a la existencia de CO₂ en proporciones considerables, se produciría CaCO₃ que a su vez, por reacción con SO₂, formaría CaSO₄. Esto no incrementaría el consumo de Ca(OH)₂ ya que cada mol reaccionaría con el SO₂, ya sea en forma de Ca(OH)₂ o de CaCO₃.

Las reacciones que tendrían lugar serían las siguientes:



La instalación de desulfuración de gases del efluente gaseoso de la planta metalúrgica primaria funcionaría mediante energía eléctrica, que se suministraría conectando la instalación con el centro de transformación que suministraba energía eléctrica a las instalaciones ya existentes.

El consumo anual suponiendo un funcionamiento anual de 8.000 h y un factor de simultaneidad⁵² es de 0,8 es de 435 MWh/año.

El Ca(OH)_2 (cal apagada) usado como materia prima para fijar el SO_2 , llegaría a la instalación como un polvo a granel, depositándose en un silo. El consumo estimado de acuerdo con las emisiones que se evaluaron y teniendo en cuenta un exceso del 20% sobre la cantidad evaluada estequiométricamente era de 805 Kg/h, lo que para un funcionamiento anual de 8.000 h suponía un consumo de 6.440 T/año.

Como materia prima también se usaba un polielectrolito que se adicionaría al caudal de purga a filtrar, como floculante que ayuda a separar el CaSO_4 de la fase líquida. La cantidad adicionada es de 15 Kg/h de disolución de polielectrolito de 1 por 1000, lo que supondría 15 g/h de polielectrolito puro. El consumo sería de 120 Kg/año.

Aunque la planta no presentaría vertidos de proceso, ya que el agua separada por filtración de la purga de CaSO_4 obtenido como producto de la fijación del SO_2 se reutilizaría volviendo a cabecera para la preparación de la lechada de cal usada como reactivo, el residuo sólido obtenido en la filtración en forma de tortas de CaSO_4 contenía humedad en un porcentaje de un 35%. Esta humedad supondría un contenido en agua de 736 Kg/h en una cantidad de 2.103 Kg/h. Así pues, esta cantidad de agua habría que reponerla en el proceso y ascendería a 17,7 m³/día. Teniendo en cuenta las 8.000 horas de funcionamiento anual, estaríamos hablando de 5.888 m³/año.

Esta instalación propuesta suponía una reducción muy importante de las emisiones de óxidos de azufre contenidos en los gases de la metalurgia primaria.

Ante el tratamiento previsto de mineral con alto contenido en azufre en la metalurgia primaria, la instalación de desulfuración aseguraba que, tras la misma, los gases emitidos respetarían los límites fijados en la legislación vigente para el dióxido de azufre: 4.300 mg/Nm³.⁵³

⁵² Factor de simultaneidad : Es el cociente entre la potencia eléctrica máxima que puede entregar una instalación eléctrica, y la suma de las potencias nominales de todos los receptores que pueden conectarse a ella.

⁵³ Número 24 del Anexo 3 del Real Decreto 833/1975.

El caudal másico en SO₂ evaluado de 580 Kg/h representaba una concentración de 41.428 mg/Nm³ de gases emitidos. La aplicación del sistema de desulfuración conduciría a una reducción superior al 90% en el contenido de azufre. Con ello, el nivel de emisión máximo de SO₂ en los gases de salida del scrubber se fijaba en 4.300 mg/Nm³ exigidos por el Real Decreto 833/1975 de 6 de febrero por el que se desarrolla la Ley 38/1972 de 22 de diciembre, de Protección de Ambiente Atmosférico.

La instalación disponía de un equipo de medición en continuo de la concentración de SO₂ en las emisiones de salida que permitía no sólo realizar el control del proceso si no también mantener un control de las emisiones producidas.

Los residuos que esta planta generaría serían:

- CaSO₄: 58%
- Ca(OH)₂: 7%
- Humedad: 35%

Pudiendo existir trazas de mercurio. La producción estimada es de 2.103 Kg/h y su destino final sería en depósito controlado. Siendo la cantidad total de residuo producida en el tratamiento de las 88.000 T de mineral de la explotación disponible unas 22.000 T.

Los residuos banales producidos en el mantenimiento, así como las piezas sustituidas se gestionarían según el sistema de gestión de residuos de la planta.

El presupuesto total de la instalación de este planta propuesta ascendía a la cantidad de 568.320 €.

CONCLUSIONES

9. CONCLUSIONES

Respecto a las modificaciones tecnológicas que se propusieron en determinadas épocas, no todas fueron llevadas a cabo, algunas por exigir un alto coste imposible de asumir y otras por su carencia de idoneidad. A continuación se detallarán las modificaciones estudiadas con los resultados obtenidos tanto si fueron como si no fueron desarrolladas en campo.

Preparación mecánica del mineral

El principal inconveniente de la utilización de este horno es que sólo se justifica en el caso de minerales ricos y producciones grandes.

La granulometría del producto pasaba de 120 mm a 40 mm. Toda la producción de la planta pasaba por el molino, para evitar la presencia en el horno de trozos mayores de 40 mm que podían perjudicar el proceso de destilación en los hornos.

Sistema de alimentación

Algo tan sencillo como evitar que el mineral estuviera expuesto al calor procedente de la primera cámara del horno mientras esperaba a ser conducido hacia su interior, evitó que se perdiera mercurio en forma de vapor y por tanto se consiguió que la concentración de mercurio inicial en el cinabrio se mantuviera intacta antes de ser introducido en el horno, aumentando así el rendimiento de una situación anterior. Esta evaporación del mercurio conllevaba también una contaminación atmosférica considerable que fue eliminada con la innovación de los alimentadores vibrantes que iban directos a la boca del horno sin esperas al aire libre.

Uso del Propano como combustible

Este cambio en el combustible para la tostación del cinabrio fue sin duda uno de los más importantes ya que consiguió aumentar el rendimiento de la instalación de una manera destacada. No sólo por la disminución del coste de combustible ya que su poder calorífico es mayor que el del gasoil si no también por obtener, usando propano, unos hollines más limpios al ser mejor la combustión producida en el horno.

Se llega a la conclusión de que el presupuesto presentado por la empresa Propano S.A. no fue llevado a cabo dado que no se han encontrado planos y además existe un presupuesto posterior de Colegio Oficial de Ingenieros de Madrid donde se maneja un volumen mayor para el depósito de gas que se ajustaría más a las necesidades de producción de la época. Mientras que el de Propano Industrial S.A. era de 7 m³, el del Colegio Oficial de Ingenieros de Madrid ascendía a un volumen de 113 m³. Además, éste último presupuesto está avalado por datos técnicos de los que sin embargo carecemos en el presupuesto de Propano Industrial S.A.

Recuperación de Mercurio de Hollines

Resultó una mejora sustancial el hecho de eliminar el hasta el momento el universal método de lavado manual del hollín resultante con cal viva. Además de suponer una medida de prevención de enfermedades por intoxicación con vapores de mercurio para los operarios, resultó obtener un porcentaje de recuperación del mercurio mucho más alto. Y, por lo tanto, un aumento del rendimiento del 55% al 99,8%.

Además, hay que señalar que el hecho de tratar químicamente a los hollines dio lugar a una patente en el año 1968 y luego más tarde, en el año 1975, a una mejora de dicha patente, atribuidas ambas a un trabajador del CENIM. Esto refuerza aún más la fiabilidad del método para recuperar el mercurio de los hollines

Recuperación de Mercurio del polvo de los gases

Otra fuente de pérdida de mercurio importante como era el contenido en el polvo de los gases se entiende que fue remediada atendiendo a la cantidad de información detallada que hay al respecto pero que no se puede avalar con datos de medidas realizadas in situ ya que no se ha dispuesto de ellas en la documentación examinada. Sin embargo, dado que entre las opciones propuestas había algunas cuyo coste no era excesivo, es entendible que se llevaran a cabo puesto que el resultado final compensaba el esfuerzo de la mejora.

Hornos, condensadores : Cuadro de control

El hecho de semi-automatizar mediante cuadros de control el sistema de hornos y condensadores supuso un adelanto en la facilidad para la explotación de las instalaciones.

Si bien esto supondría una disminución de la mano de obra que no se eliminaría totalmente dado el alto coste de la instalación de un sistema completamente automático.

El hecho del control de la temperatura en los hornos supuso un control del consumo de combustible y una optimización de la combustión del mineral. En cuanto a los condensadores, la programación automática de los lavados de tubos de condensado evitaba la formación de polvo en las paredes que minimizaban la sublimación, que era el objetivo de la instalación.

Aprovechamiento del calor de las escorias

El proyecto para el aprovechamiento del calor contenido en las escorias de la planta metalúrgica de minas de Almadén y usar ese calor para calentar agua o aire no llegó a realizarse se entiende por el alto coste que ello significaba. Se optara por una u otra solución, el desembolso económico no lo hacía rentable.

Tratamiento de aguas residuales

Con las estrictas restricciones en cuanto a los vertidos de aguas residuales era necesario hacer un tratamiento exigente que hiciera poder cumplir con los valores máximos permitidos según la legislación vigente en ese momento, por lo que este proyecto de tratamientos de aguas fue necesario y productivo a su vez.

En cuanto al resto de los circuitos de aguas, se hizo posible convertir a un circuito cerrado lo que supuso un reciclaje de las misma y, por tanto, una reducción de gastos, aunque el desembolso de la obra ejecutada fuera de casi 30 millones de pesetas en la época.

Desulfuración de Gases

A pesar de que el tratamiento para la desulfuración de gases podría ser algo obligatorio por la comprometido de la situación dado las normas de emisión de gases vigentes en el año que se proyectó, es prácticamente obvio el afirmar que no se llevó a cabo teniendo en cuenta que la explotación de las minas de Almadén fue paralizada definitivamente por el cierre de las instalaciones.

Si se hubiese dado el caso de permanecer operativas, no pongo en duda la realización de dicha mejora en cierto modo obligados por las circunstancias que ya he comentado al principio.

BIBLIOGRAFÍA

10. BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

AGRICOLAE, G. (1556) De re metallica. Basileae.

ANGEL ÚBEDA, L. y otros (2008) Los legados de la tierra. Real Academia de Minas de Almadén. Ed. Fundación Almadén.

BARBA, A. (1640) Arte de los metales, en que se enseña el verdadero beneficio de los de oro, y de plata por azogue. El modo de fundirlos todos, y como se han de refinar y apartar unos de otros. Ed. facsímil. Librerías París-Valencia. 1993. Valencia.

BARINGA Y CORRADI, L. (1879) Metalurgia espacial. Escuela de Minas. Madrid.

BLOCH, MARC. (1949) Introducción a la historia. Fondo de Cultura Económica. México. Buenos Aires. Madrid.

COVISA CASTRO, M., MANSILLA ESCUDERO, J. (2005) La cultura de la minería del azogue. Los autores.

COTTON & WILKINSON (1994) Química inorgánica avanzada, Ed. Limusa. México.

DE BETANCOURT Y MOLINA, A. (1783) Memorias de las Reales Minas de Almadén. Ed. Plan Nacional I+D.

DE LA CRUZ GÓMEZ, C. (1995) Estudio de los fenómenos de transporte en la reacción de tostación del Cinabrio en un reactor de lecho fluidizado. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla La Mancha.

DE PRADO, CASIANO (1985) TRADUCCIÓN, **PUCHE, O.** (1985) La geología de Almadén de una parte de la Sierra de Morena y de los Montes de Toledo. Ed. E.U.P. Almadén.

DELIBES, G. Y FERNÁNDEZ-MIRANDA, M (1993) Los orígenes de la Civilización. El Calcolítico en el Viejo Mundo. Ed Síntesis., Madrid.

DOBADO GONZÁLEZ, R. (2003) Organización del trabajo y cambio técnico en las Minas de Almadén. Fundación SEPI.

ESCOSURA Y MORROGH, L. (1878) Historia del tratamiento metalúrgico del Azogue en España. Madrid.

- GONZÁLEZ, I. & FERNÁNDEZ, J.** (1990) Memorias de las Reales Minas de Almadén (1783) de Agustín de Betancourt y Molina. Madrid: Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología.
- GONZÁLEZ FABRE, M.** (2004) Aportación científica del Ingeniero de Minas D. Casiano de Prado y Vallo (1797–1866) en su contexto histórico. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- GUTIÉRREZ RÍOS, E.** (1994) Química inorgánica, Ed. Reverté.
- HERNÁNDEZ SOBRINO, ANGEL M.** (1984) Estructura y génesis de los yacimientos de mercurio de la zona de Almadén. Universidad de Salamanca.
- HERNÁNDEZ SOBRINO, ANGEL M., VILLAR DÍEZ, CRISTINA** (2004) Real Hospital Minero de San Rafael. Ed. Fundación Almadén.
- HERNÁNDEZ SOBRINO, ANGEL M.** (2007) Los mineros del azogue. Ed. Fundación Almadén.
- HOEFER, FERDINAND** (1842) Histoire de la chimie (Tomo I). Firmin Didot Frères, fils et cie. París.
- HOEFER, FERDINAND** (1882) Histoire de la botanique, de la minéralogie et de la geologie. (Tomo I). Hachette et cie. París.
- LAGOWSKI, J. J.** (1978) Química inorgánica moderna. Ed. Reverté.
- LUQUE CABAL, C., GUTIÉRREZ CLAVEROL, M.** (2006) La minería del mercurio en Asturias. Universidad de Oviedo.
- MARTÍNEZ ALGIBAR, A.** (1842) Manual de metalurgia que comprende simultáneamente “El arte de los metales” por el Licenciado Álvaro Alonso Barba. Comparación con los métodos modernos describiendo los más importantes de éstos, con los ensayos docimásticos correspondientes e incluyendo el arte ensayador de la moneda y bajilla. Impr. De Yenes. Madrid.
- MAFFEI, E. & RÚA, R.** (1871-1872) *Apuntes para una biblioteca española de libros, folletos y artículos, impresos y manuscritos, relativos al conocimiento y explotación de las riquezas minerales y a las ciencias auxiliares.* 2 vols., Madrid: Imp. J. M. Lapuente. (Reproducción facsímil en: VI Congreso Internacional de Minería. Madrid, junio de 1970. La minería hispana e iberoamericana. Contribución a su investigación histórica. Estudios. Fuentes. Bibliografía (1970). Madrid, Dpto. de Publicaciones del VI Congreso Internacional de Minería, vols. 2 y 3).

MATILLA TASCÓN, A. (1958) Historia de las Minas de Almadén. Volumen I. Ed. Gráficas Ocas. Madrid.

MATILLA TASCÓN, A. (1958) Historia de las Minas de Almadén. Volumen II. Ed. Gráficas Ocas. Madrid.

MOHEN, J.P. (1992) Metalurgia Prehistórica. Introducción a la Paleometalurgia. Ed. Masson, Barcelona.

SUMOZAS GARCÍA-PARDO, R. (2007) Arquitectura industrial en Almadén. Ed. Universidad de Castilla-La Mancha.

TEJERO MANZANARES, J. (2011) Evolución histórico-tecnológica de los hornos en la metalurgia del mercurio en las Minas de Almadén: implantación de los hornos Cermak-Spirek y Spirek. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba.

VOLTES BOU, P. (2006) El ocaso de los Fugger en España. Ed. Fundación Almadén.

ZARRALUQUI MARTÍNEZ, J. (1934) Los almadenes del azogue. La historia frente a la tradición. Tomo I. Ed. Librería Internacional de Roma. Madrid.

ZARRALUQUI MARTÍNEZ, J. (1934) Los almadenes del azogue. La historia frente a la tradición. Tomo II. Ed. Librería Internacional de Roma. Madrid.

ARTICULOS

ALVAREZ MARTÍN, J. B., MONSEUR LESPAGNARD, J., GUTIÉRREZ MAROTO, A. & GUIJARRO GALIANO, J. (1988). Distribución geoquímica de elementos traza en los sulfuros piritita y cinabrio y en las intercalaciones pizarrosas de la capa de San Nicolás. Yacimiento de Almadén (Ciudad Real). Estudios Geológicos, 44: 181-187.

BELLO GONZÁLEZ, N. I., & URBÁEZ, S. (2012). Manejo y disposición final de desechos de mercurio en clínicas odontológicas públicas del estado Monagas, Venezuela.

CAÑIZARES, M. C. (2003). Patrimonio minero-industrial en Castilla-La Mancha: el área Almadén-Puertollano. Investigaciones Geográficas: N°31, 87-106. Alicante.

- CAÑIZARES, M. C.** (2008). El atractivo turístico de una de las minas más importantes del mundo: el parque minero de Almadén (Ciudad Real). Cuadernos de Turismo: Enero-Junio (21). Murcia.
- GORDON CHILDE, V.** (1996) Los orígenes de la civilización. Fondo de Cultura económica de México.
- HIGUERAS, P.L., GERVILLA, F. & MORATA, D.** (2000). Las espinelas cromíferas como indicadores petrogenéticos en las rocas magmáticas del Sinclinal de Almadén. Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe. Vol. 25, pp. 99-101. La Coruña.
- MARTÍN GIL, J.; MARTÍN GIL, F.J.; DELIBES DE CASTRO, G.; ZAPATERO MAGDALENO, P.; SARABIA HERRERO, F.J.** (1994). "Neolítico. Uso del Cinabrio". Investigación y Ciencia, nº 219.
- MARTÍN GIL, J.; MARTÍN GIL, F.J.; DELIBES DE CASTRO, G.; ZAPATERO MAGDALENO, P.; SARABIA HERRERO, F.J.** (1995). "The first known use of vermillion". Cellular and Molecular Life Sciences, 51(8): 759-761.
- ROVIRA, S.** (2004). Tecnología metalúrgica y cambio cultural en la prehistoria de la península Ibérica. Norba, Vol 17: 9-40.
- TEJERO MANZANARES, J.; ESPAÑOL CANO, S.; MONTES TUBÍO, F.** (2013). Detection criteria and preventive measures for occupational disease in the mines of Almadén (Spain). Environmental Monitoring and Assessment. Vol 185 (11) 9125-9138.
- VILLAR DÍEZ, C.** El archivo histórico de las Minas de Almadén y su contribución a la recuperación del patrimonio histórico.
http://www.usc.es/estaticos/congresos/histec05/b21_villar_diez.pdf

WEBS

- enciclopedia_universal.esacademic.com
- enciclopedia.us.es
- geominero.blogspot.com
- ingenierosdeminas.org
- mdcvillafranca.blogspot.com.es
- mediateca.educa.madrid.org
- www.acienciasgalilei.com

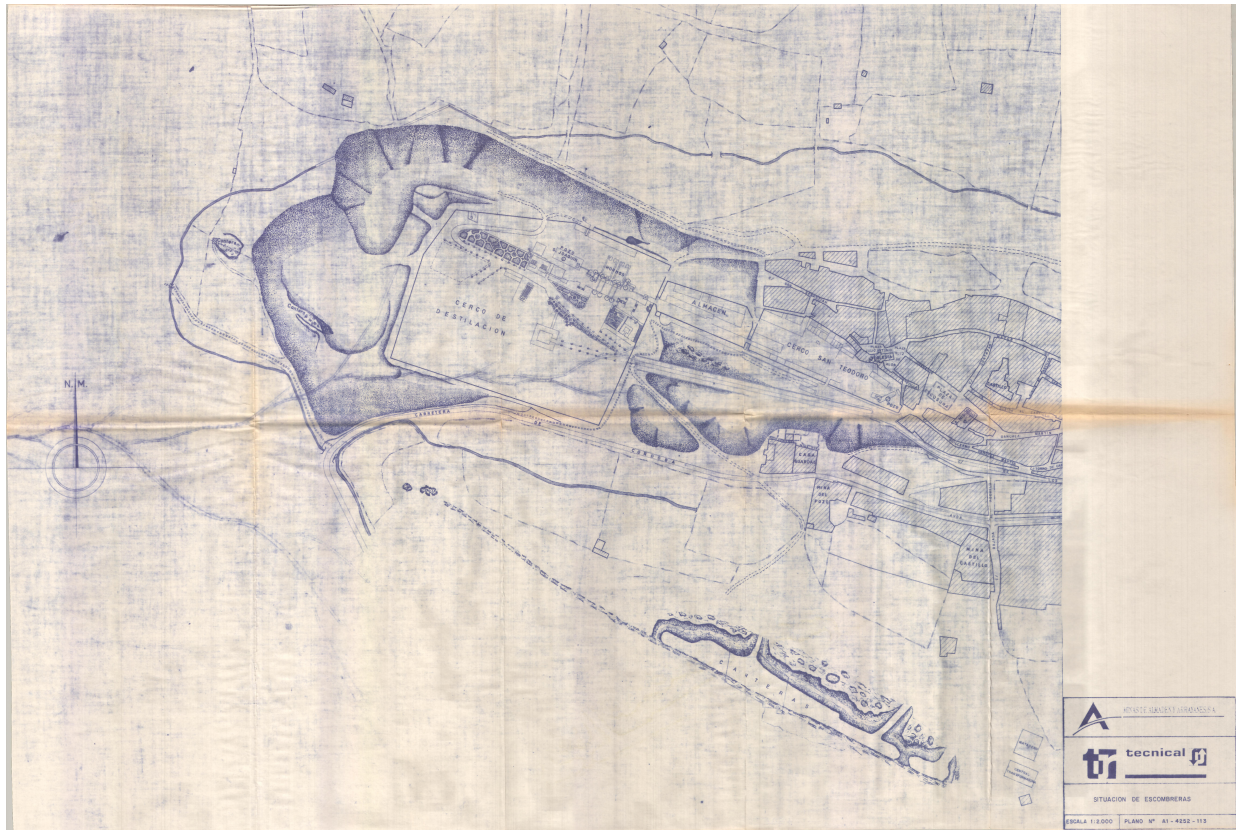
- www.aeok.org.ar
- www.almadenejos.es
- www.biografiasyvidas.com
- www.comarcadealmaden.com
- www.comarcamontesur.com
- www.dealmaden.com
- www.digital.csic.es
- www.eldigitalcastillalamancha.es
- www.gabrielbernat.es
- www.google.es
- www.ine.es
- www.inforural.com
- www.invenes.oepm.es
- www.lacerca.com
- www.mayasa.es
- www.mcnbiografias.com
- www.minetad.gob.es
- www.mtiblog.com
- www.nalsite.com
- www.parquemineroodealmaden.es
- www.petromercado.com
- www.pfcroll.com
- www.pueblos-espana.org
- www.quimicafisica.com
- www.scribd.com
- www.turismocastillalamancha.com
- www.viajeuniversal.com
- www.vivirasturias.com

OTRAS FUENTES

- Museo Escuela Universitaria Politécnica de Almadén.
- Fundación “Francisco Javier de Villegas” en Almadén.
- Parque Minero de Almadén.
- Consideraciones sobre la implantación de la IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control) en la Metalurgia Primaria del mercurio. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. Informe N° 2399 (1). 2000.

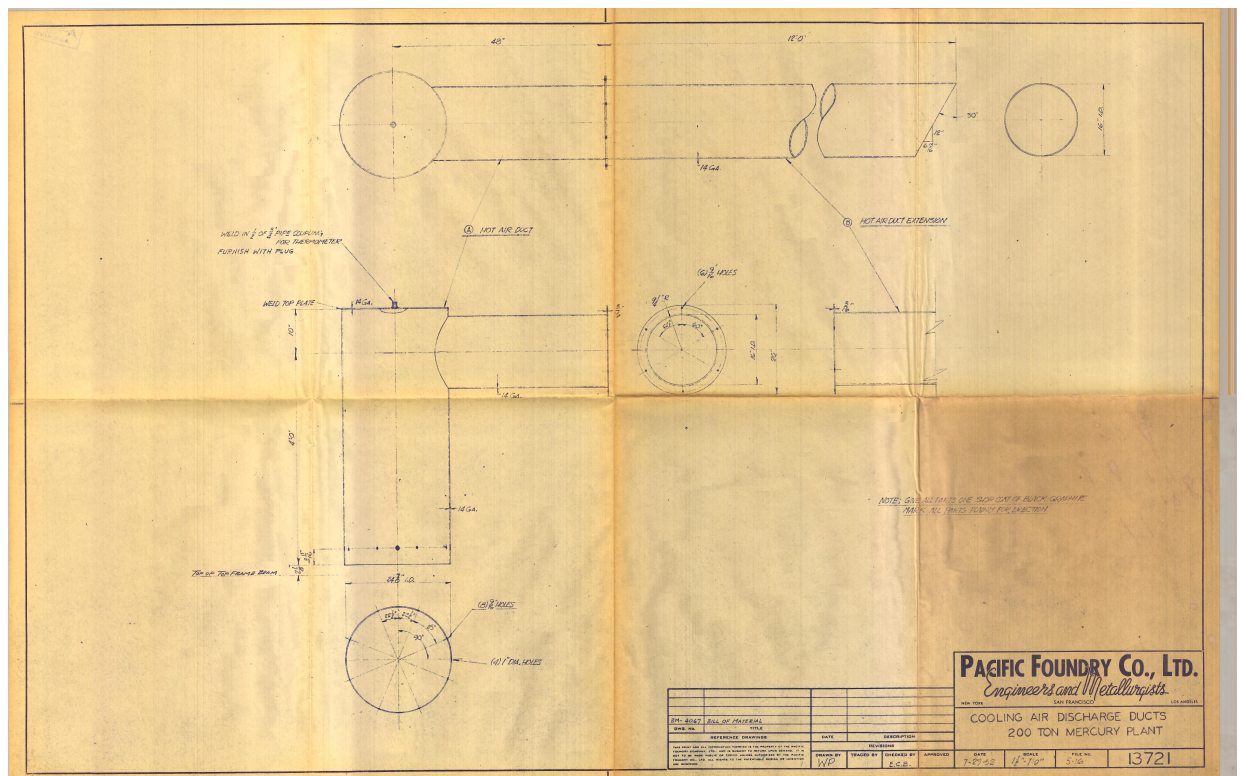
ANEXOS DE PLANOS

11. ANEXO DE PLANOS



PLANO I (Fig. 23)

- NOMBRE: Plano situación de las escombreras.
- AUTOR: TECNICAL.
- SIGNATURA: P-7125

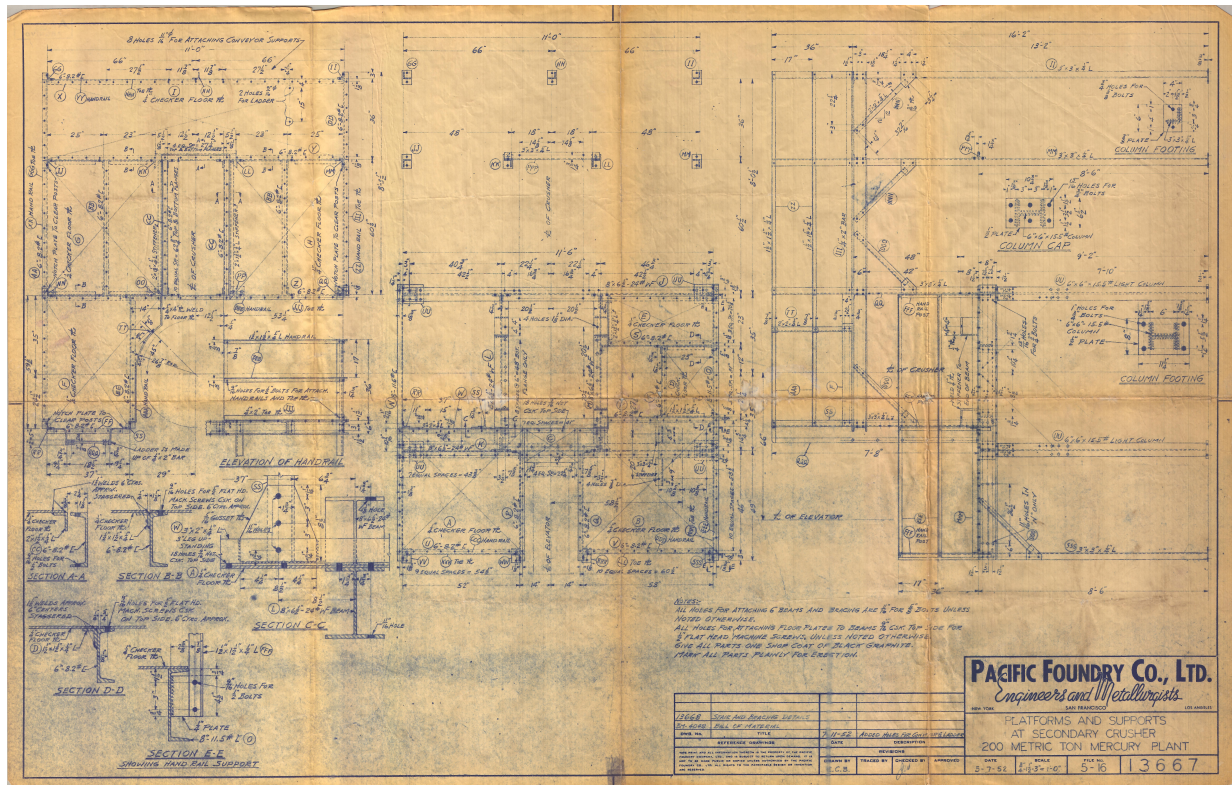


PLANO II (Fig. 64)

- NOMBRE: Detalle de conductos de aire de refrigeración (1952).
- AUTOR: PACIFIC FOUNDRY Co.
- SIGNATURA: P-00622

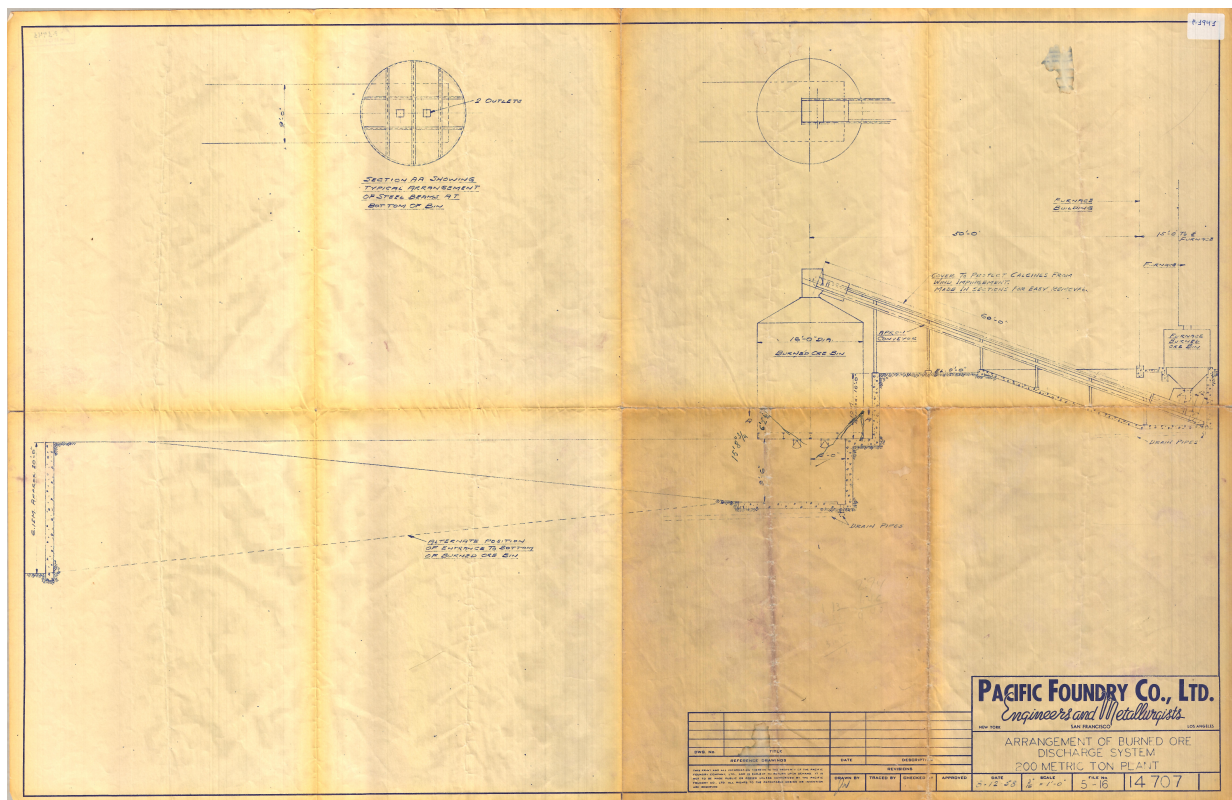


- NOMBRE: Detalle pasarelas para el transportador.
- AUTOR: PACIFIC FOUNDRY Co.
- SIGNATURA: P-00640



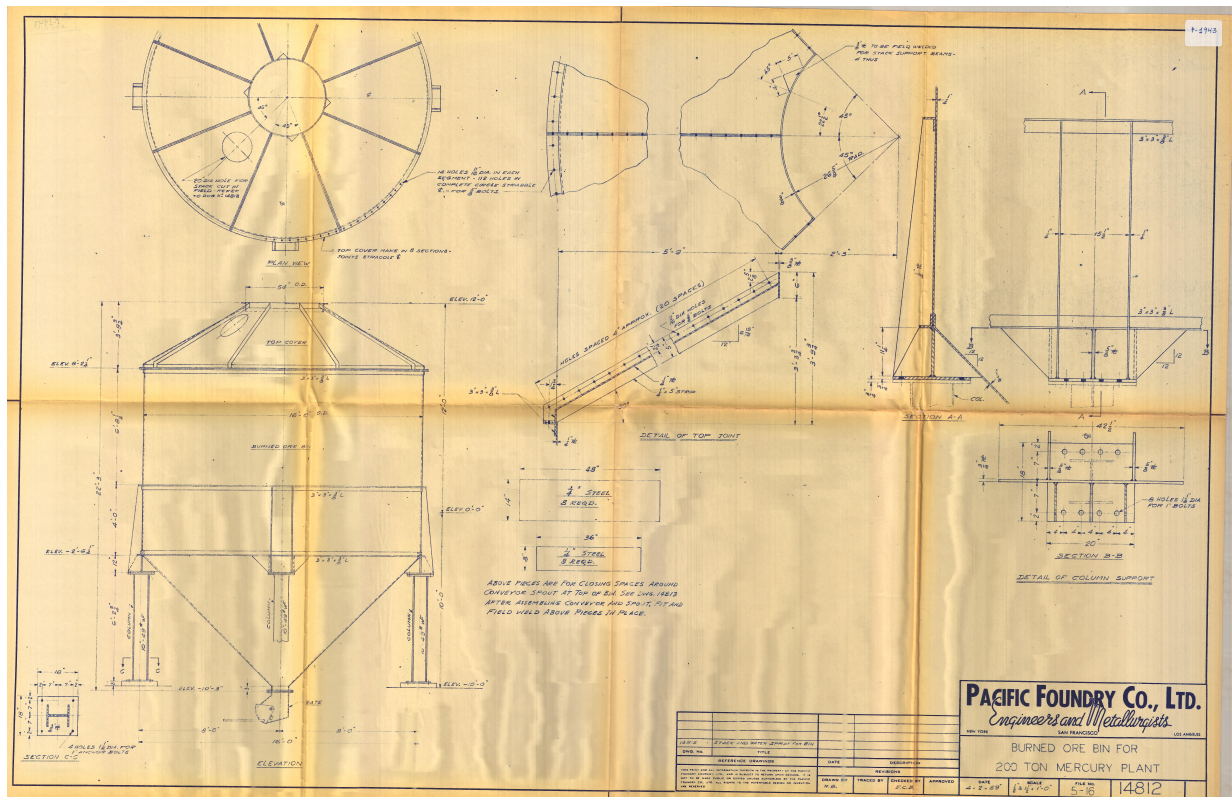
PLANO IV (Fig. 66)

- NOMBRE: Detalle de plataformas y soportes en machacadora secundaria (1952).
- AUTOR: PACIFIC FOUNDRY Co..
- SIGNATURA: P-00623



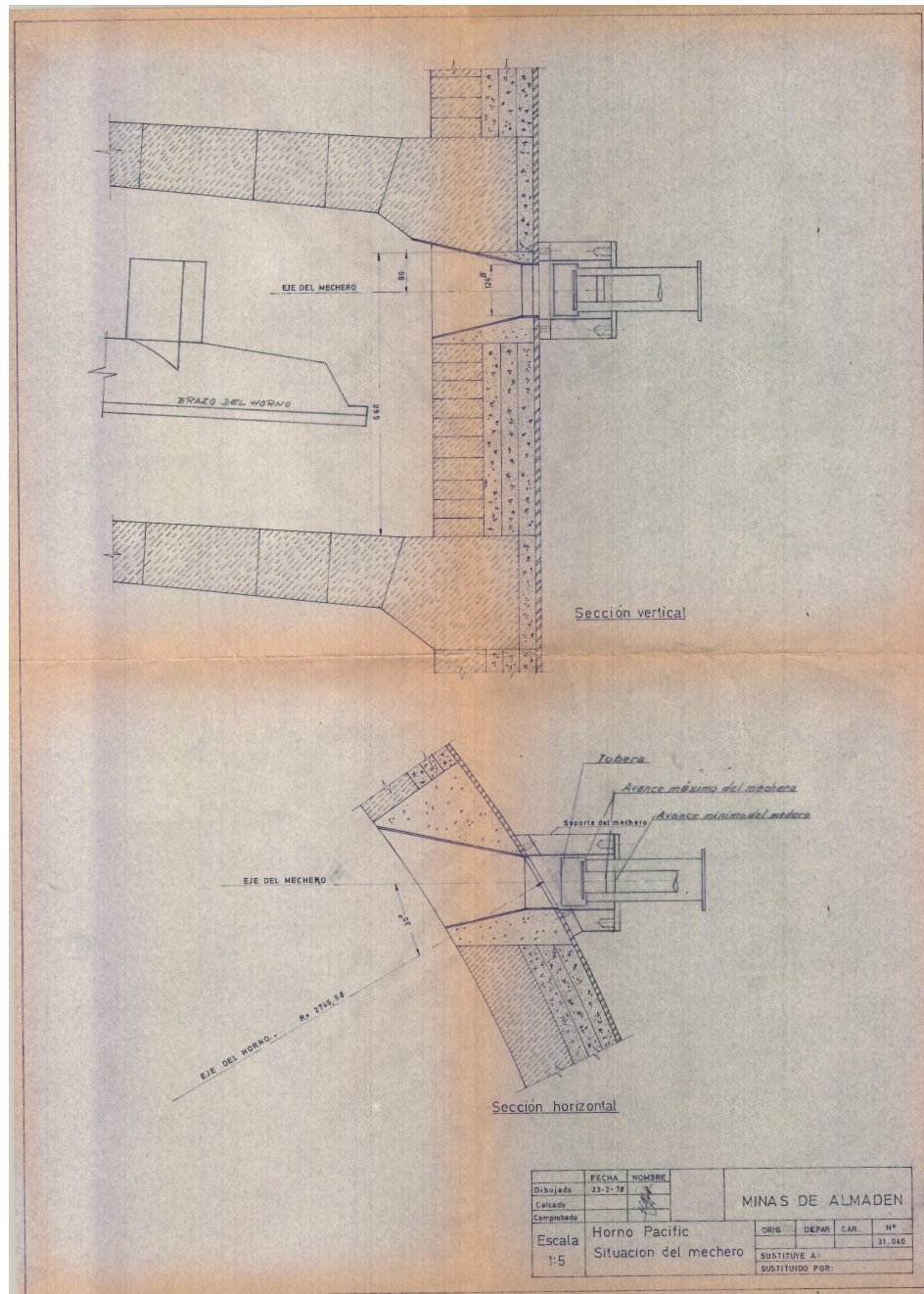
PLANO V (Fig. 67)

- NOMBRE: Detalle del sistema de descarga del mineral quemado (1958).
- AUTOR: PACIFIC FOUNDRY Co.
- SIGNATURA: P-01941



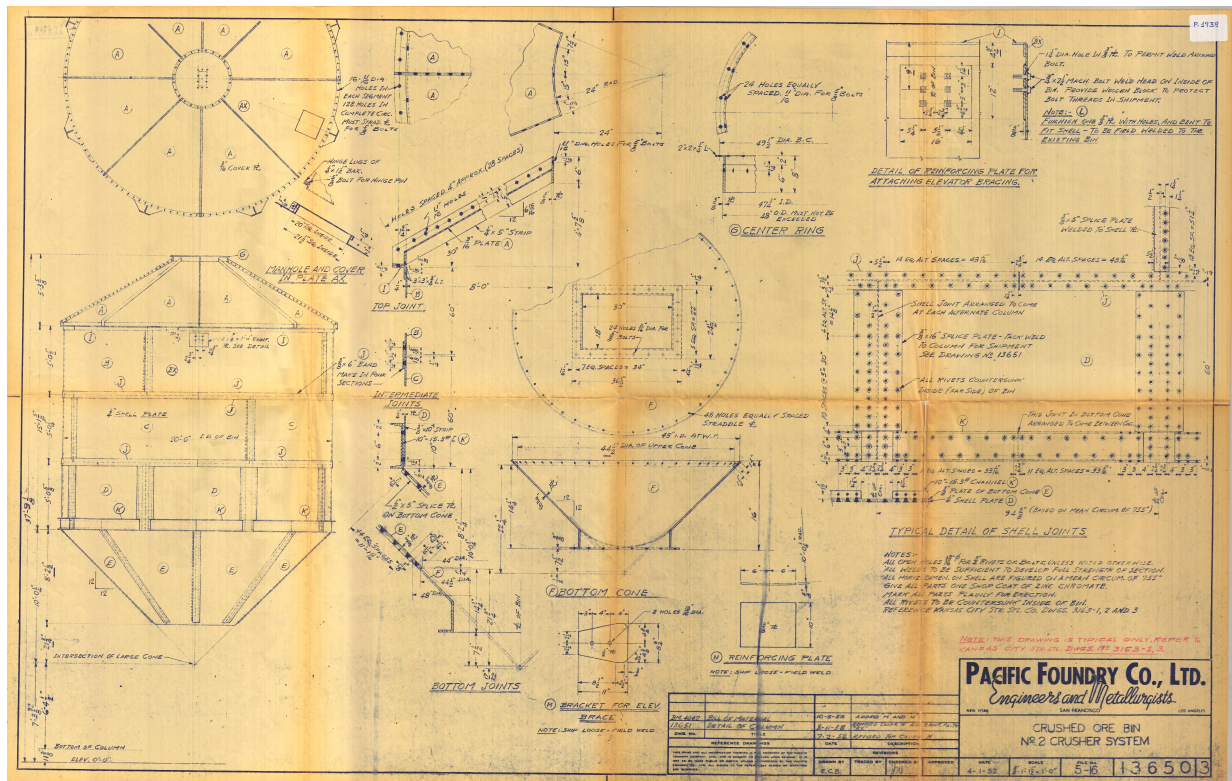
PLANO VI (Fig. 68)

- NOMBRE: Detalle de depósito para mineral quemado (1959).
- AUTOR: PACIFIC FOUNDRY Co.
- SIGNATURA: P-01943



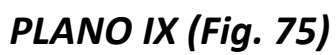
PLANO VII (Fig. 70)

- NOMBRE: Detalle de la situación del mechero en horno Pacific (1978).
- AUTOR: -
- SIGNATURA: P-05494

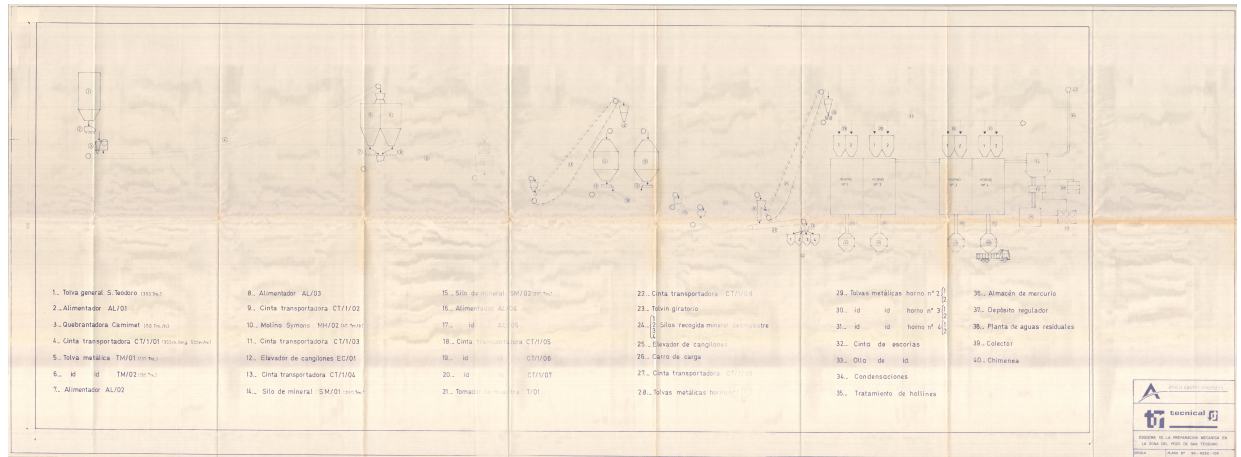


PLANO VIII (Fig. 73)

- NOMBRE: Detalle de la trituradora de mineral (1952).
- AUTOR: PACIFIC FOUNDRY Co.
- SIGNATURA: P-01938

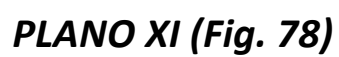


- NOMBRE: Detalle de plano de horno Pacific instalado en Almadén.
- AUTOR: TECNICAL.
- SIGNATURA: P-7118

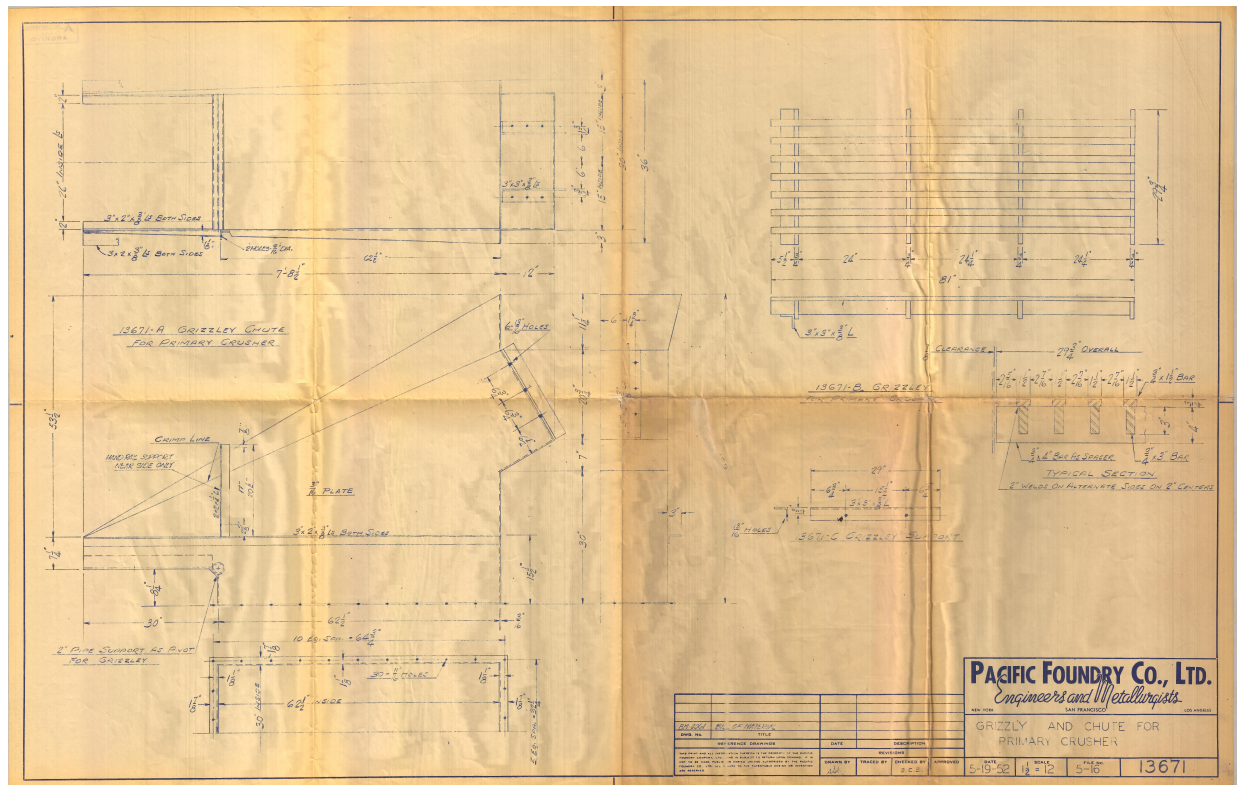


PLANO X (Fig. 76)

- NOMBRE: Esquema de la preparación mecánica en el pozo de San Teodoro.
- AUTOR: TECNICAL.
- SIGNATURA: P-7117

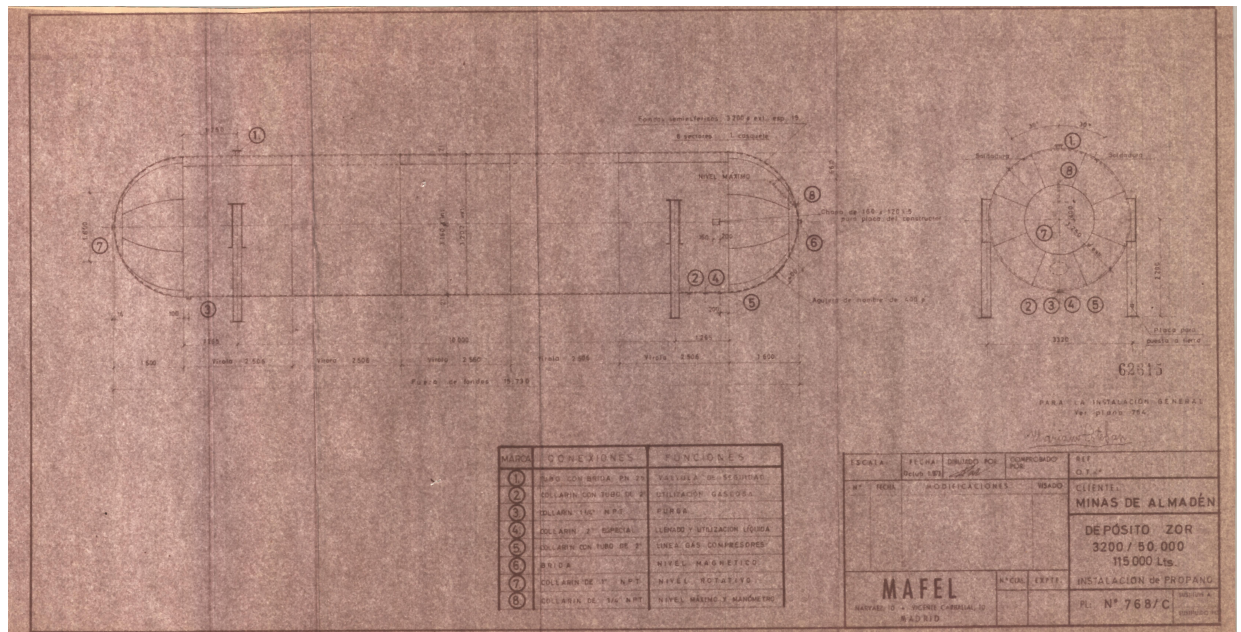


- NOMBRE: Detalles de la tolva del todo uno de 400 T (1960).
- AUTOR: -
- SIGNATURA: P-05916



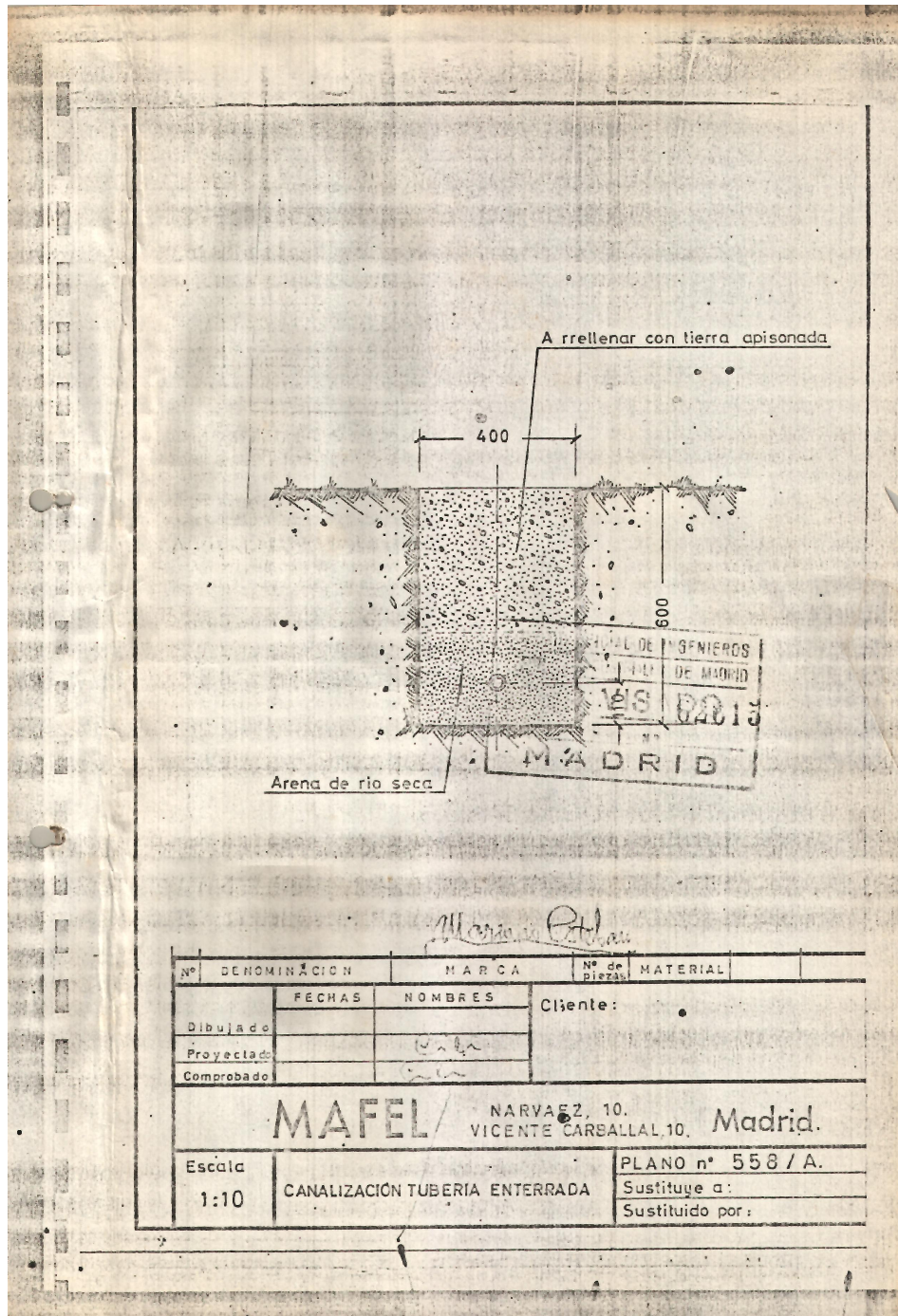
PLANO XII (Fig. 79)

- NOMBRE: Detalle del alimentador vibrante a la quebrantadora primaria (1952).
- AUTOR: PACIFIC FOUNDRY Co.
- SIGNATURA: P-00626



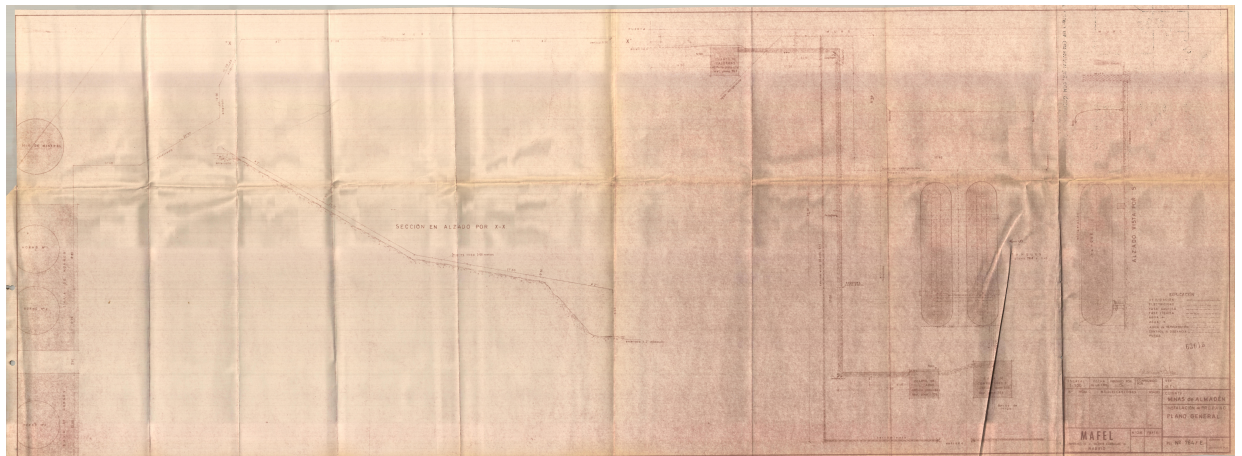
PLANO XIII (Fig. 81)

- NOMBRE: Detalle depósito GLP (1973).
- AUTOR: MAFEL.
- SIGNATURA: P-07827



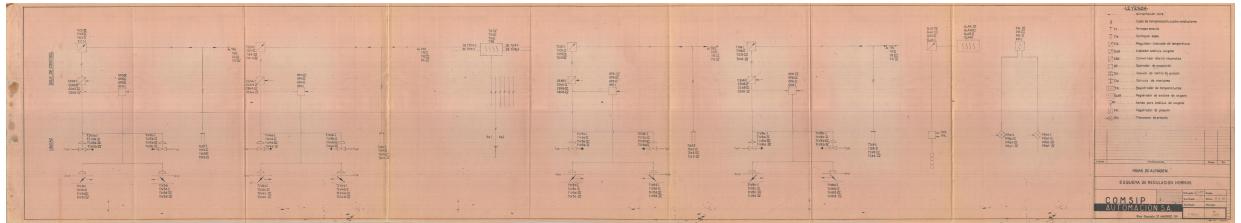
PLANO XIV (Fig. 83)

- NOMBRE: Detalle de tubería enterrada.
- AUTOR: MAFEL.
- SIGNATURA: P-07845



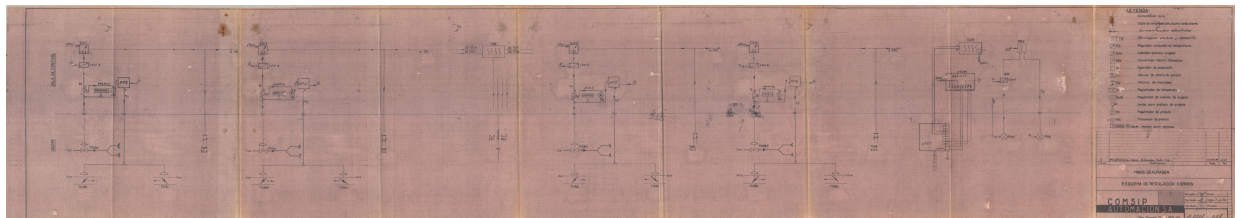
PLANO XV (Fig. 85)

- NOMBRE: Detalle de plano general (1973).
- AUTOR: MAFEL.
- SIGNATURA: P-07840



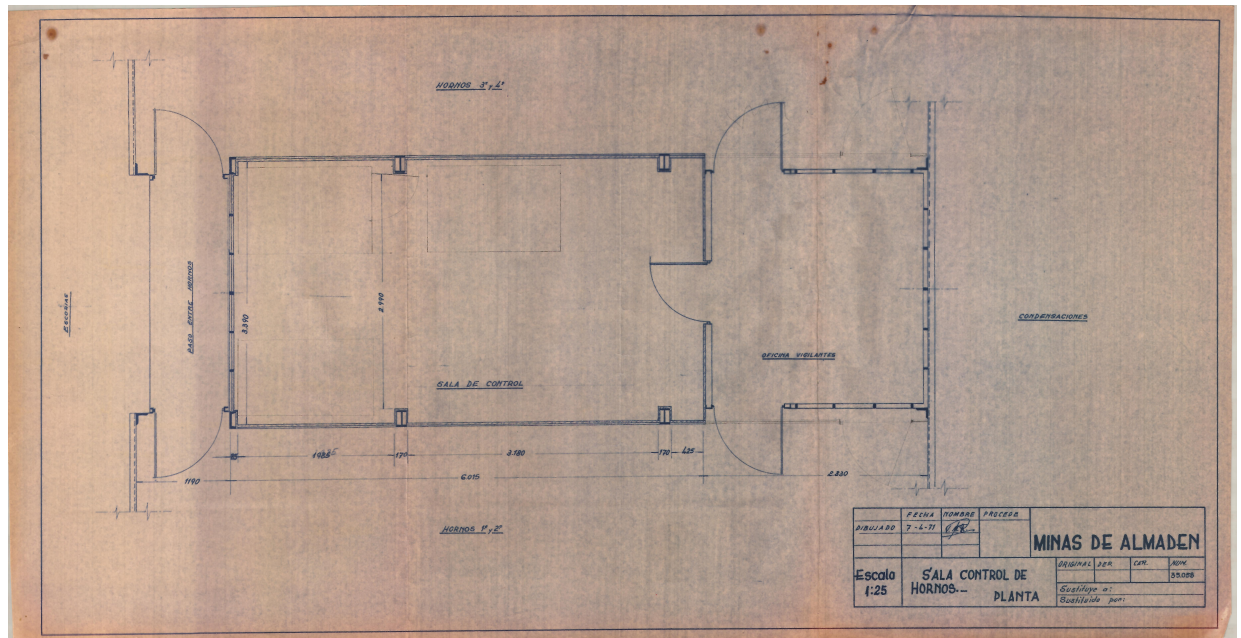
PLANO XVI (Fig. 93)

- NOMBRE: Esquema de control de la marcha semiautomática de los hornos Pacific (1968).
- AUTOR: COMSIP AUTOMACIÓN S.A.
- SIGNATURA: P-08707



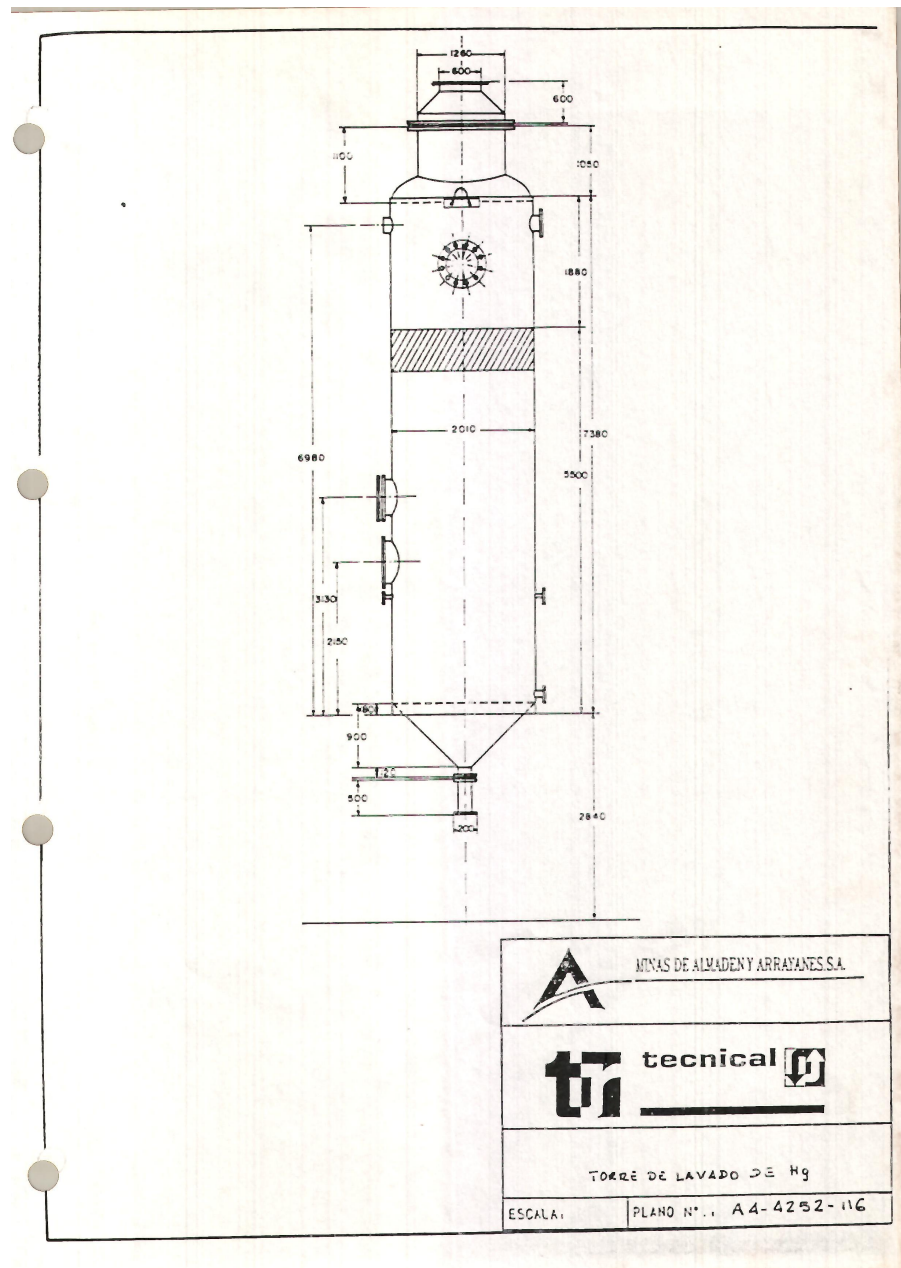
PLANO XVII (Fig. 94):

- NOMBRE: Esquema de regulación de los hornos (1970).
- AUTOR: COMSIP AUTOMACIÓN S.A.
- SIGNATURA: P-08713



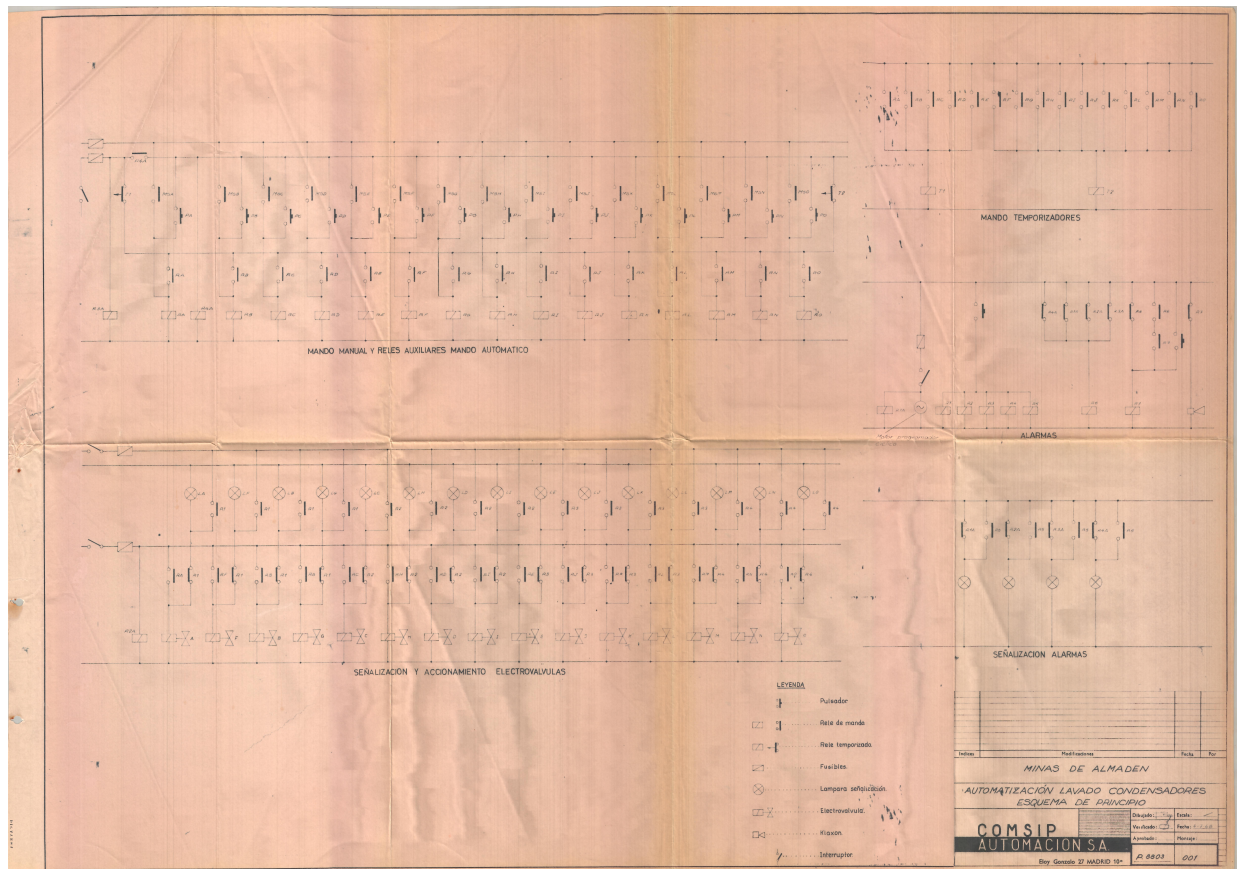
PLANO XVIII (Fig. 95)

- NOMBRE: Sala de control de los hornos (1971).
- AUTOR: -
- SIGNATURA: P-08710



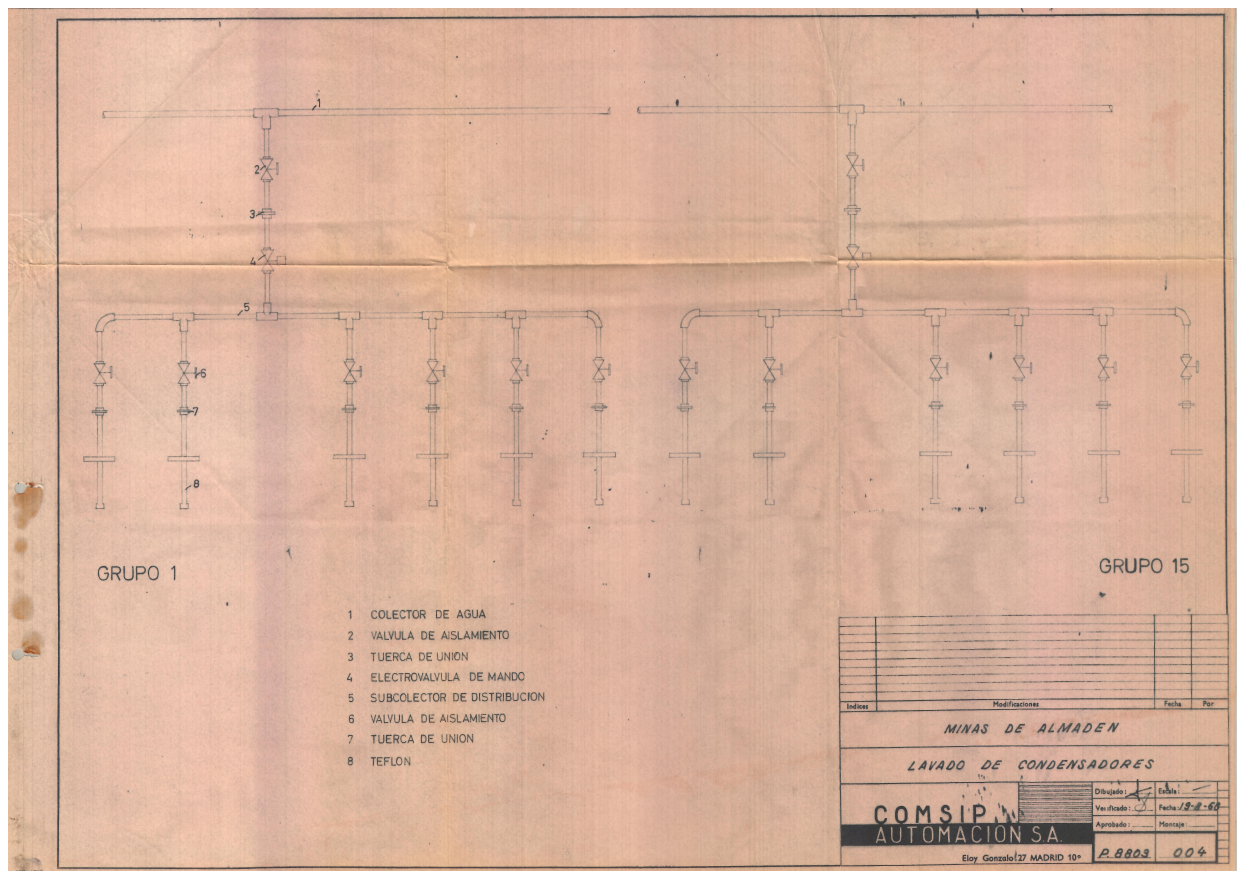
PLANO XIX (Fig. 96)

- NOMBRE: Torre de lavado de horno Pacific .
- AUTOR: TECNICAL.
- SIGNATURA: P-7128



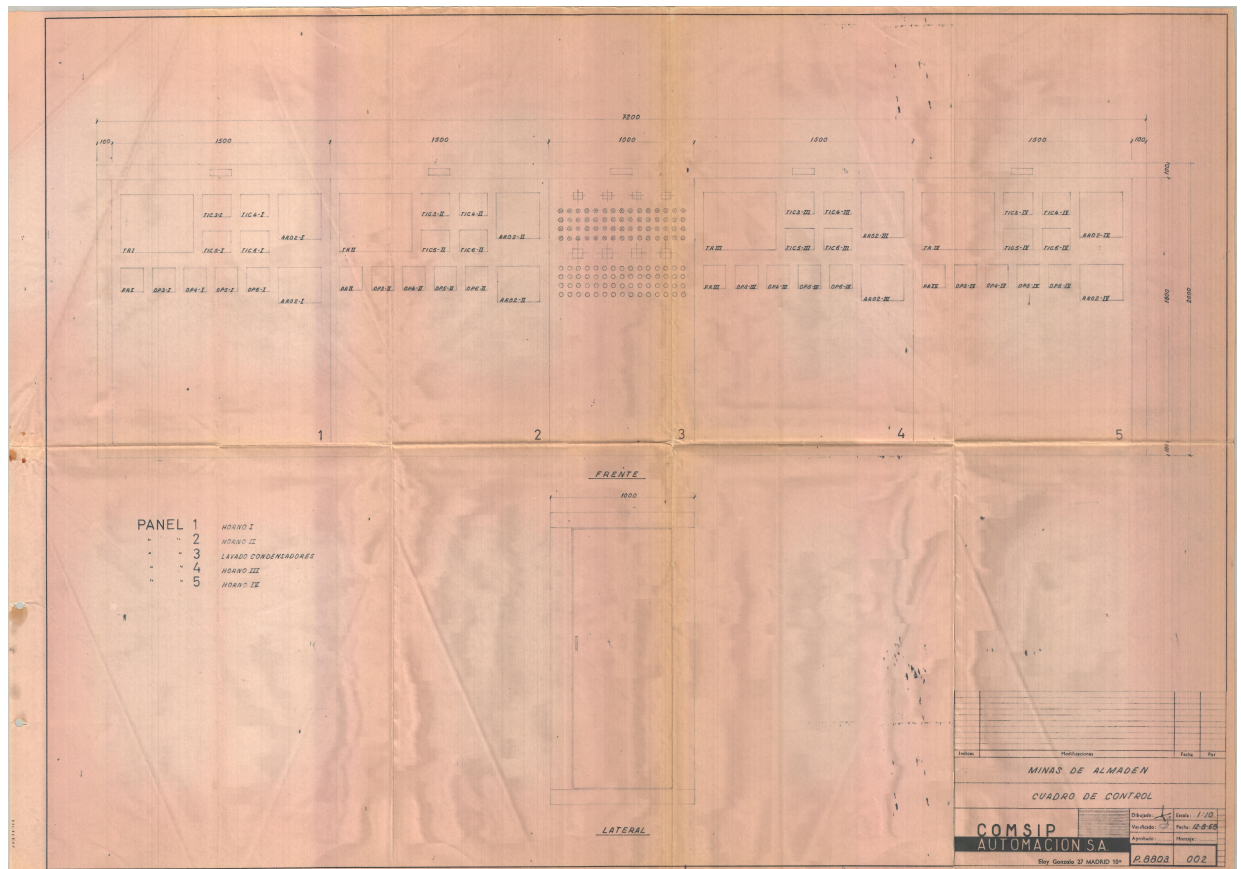
PLANO XX (Fig. 97)

- NOMBRE: Detalle de automatización del lavado de condensadores. Esquema de principio (1968).
- AUTOR: COMSIP AUTOMACIÓN S.A.
- SIGNATURA: P-08705



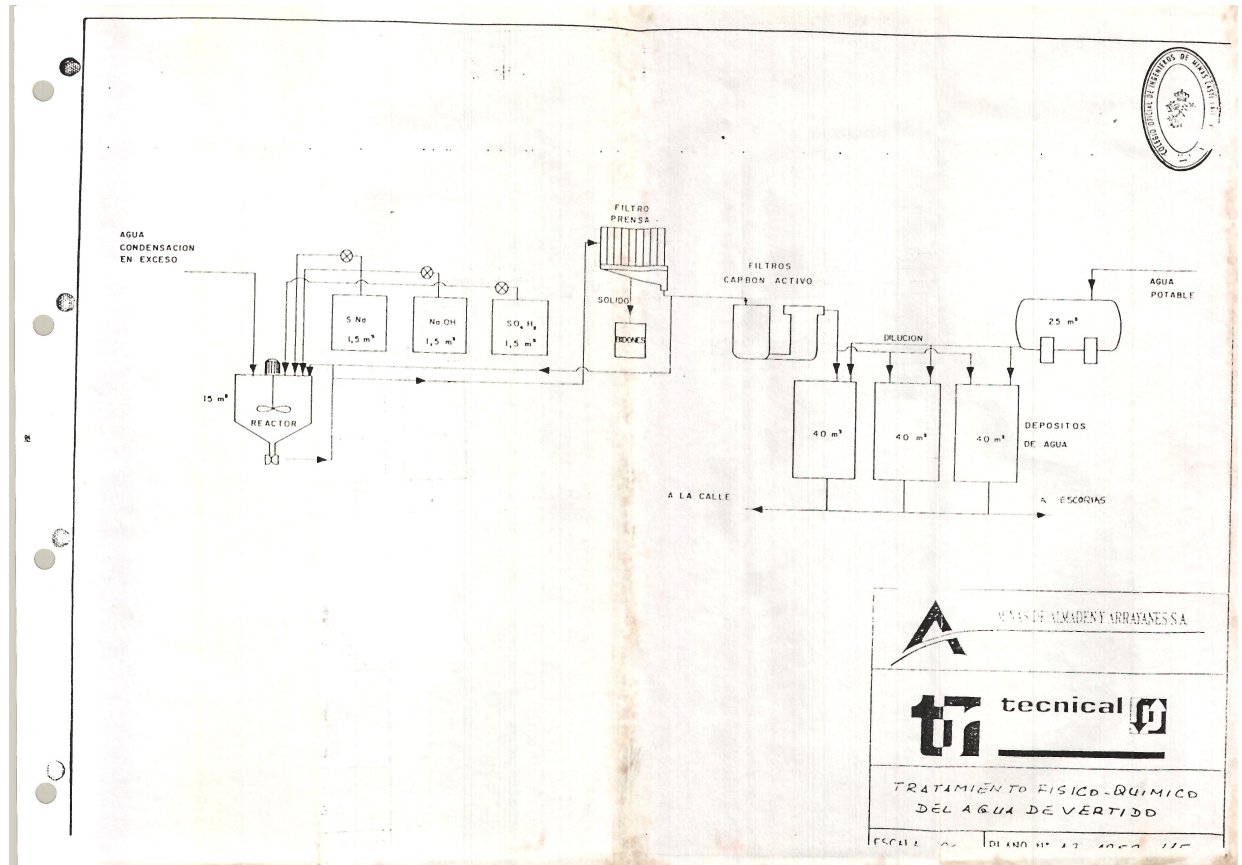
PLANO XXI (Fig. 98)

- NOMBRE: Detalle del lavado de condensadores (1968).
- AUTOR: COMSIP AUTOMACIÓN S.A.
- SIGNATURA: P-08708



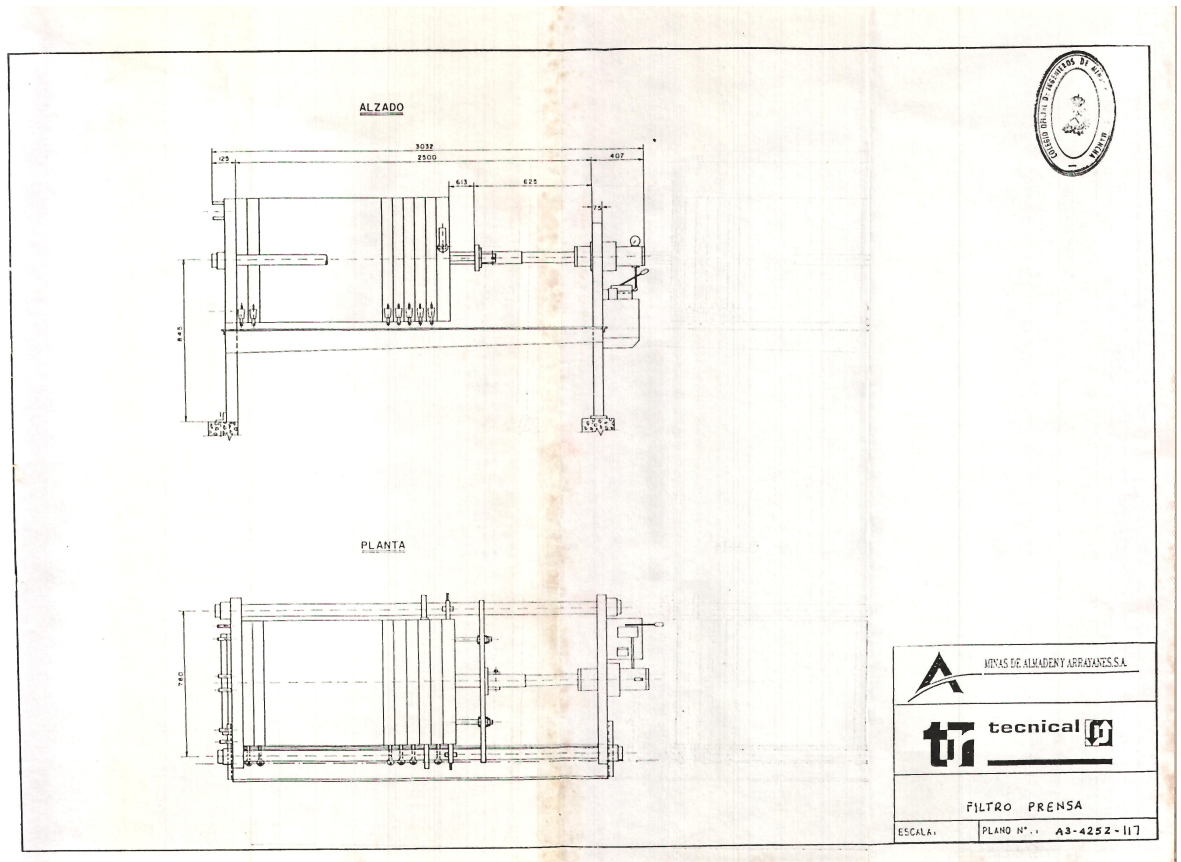
PLANO XXII (Fig. 99)

- NOMBRE: Cuadro de control (1968).
- AUTOR: COMSIP AUTOMACIÓN S.A.
- SIGNATURA: P-08706



PLANO XXIII (Fig. 106)

- NOMBRE: Esquema del tratamiento físico-químico del agua de vertidos.
- AUTOR: TECNICAL.
- SIGNATURA: P-7127

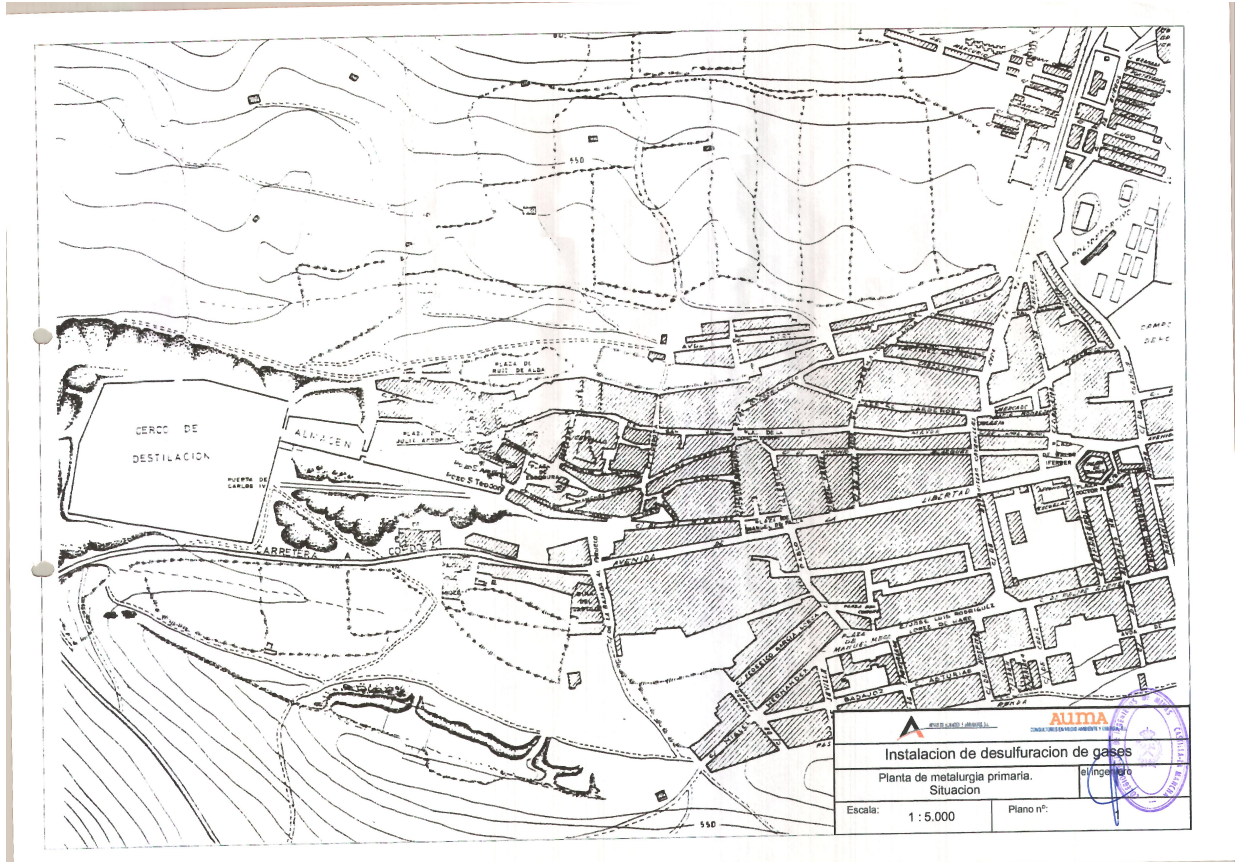


PLANO XXIV (Fig. 107)

- NOMBRE: Esquema del filtro de prensa usado en las minas de Almadén.
- AUTOR: TECNICAL.
- SIGNATURA: P-7129

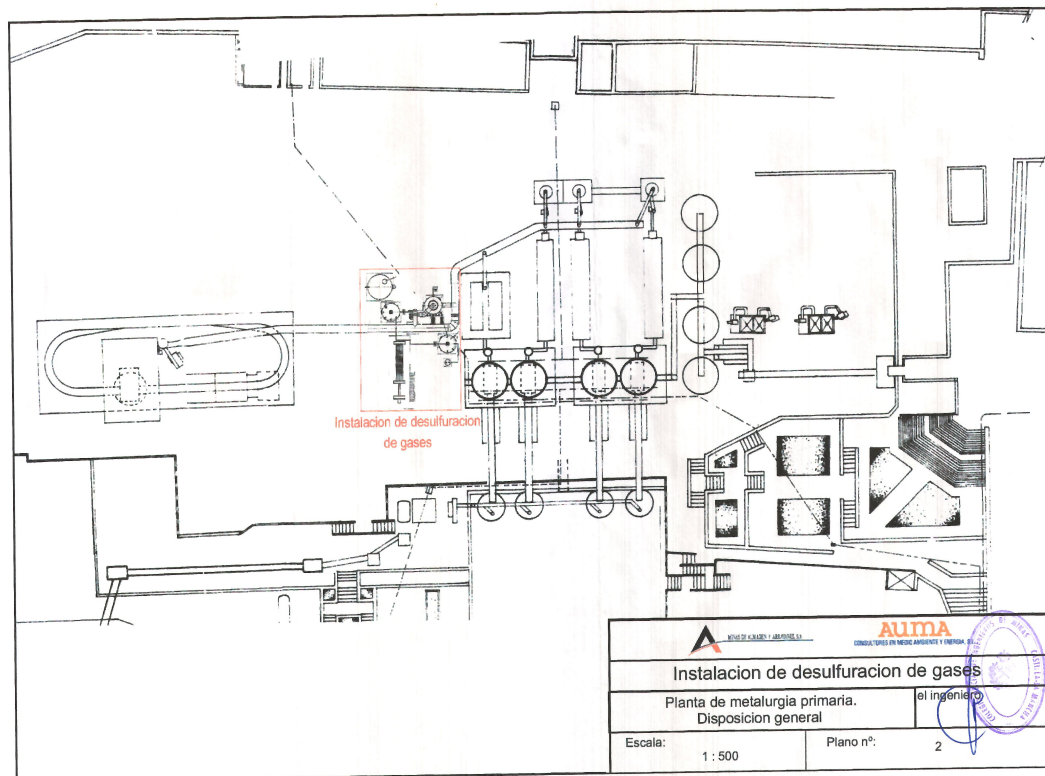


- NOMBRE: Detalle de planta de situación y planta de instalaciones de MAYASA (1990).
- AUTOR: -
- SIGNATURA: P-08727



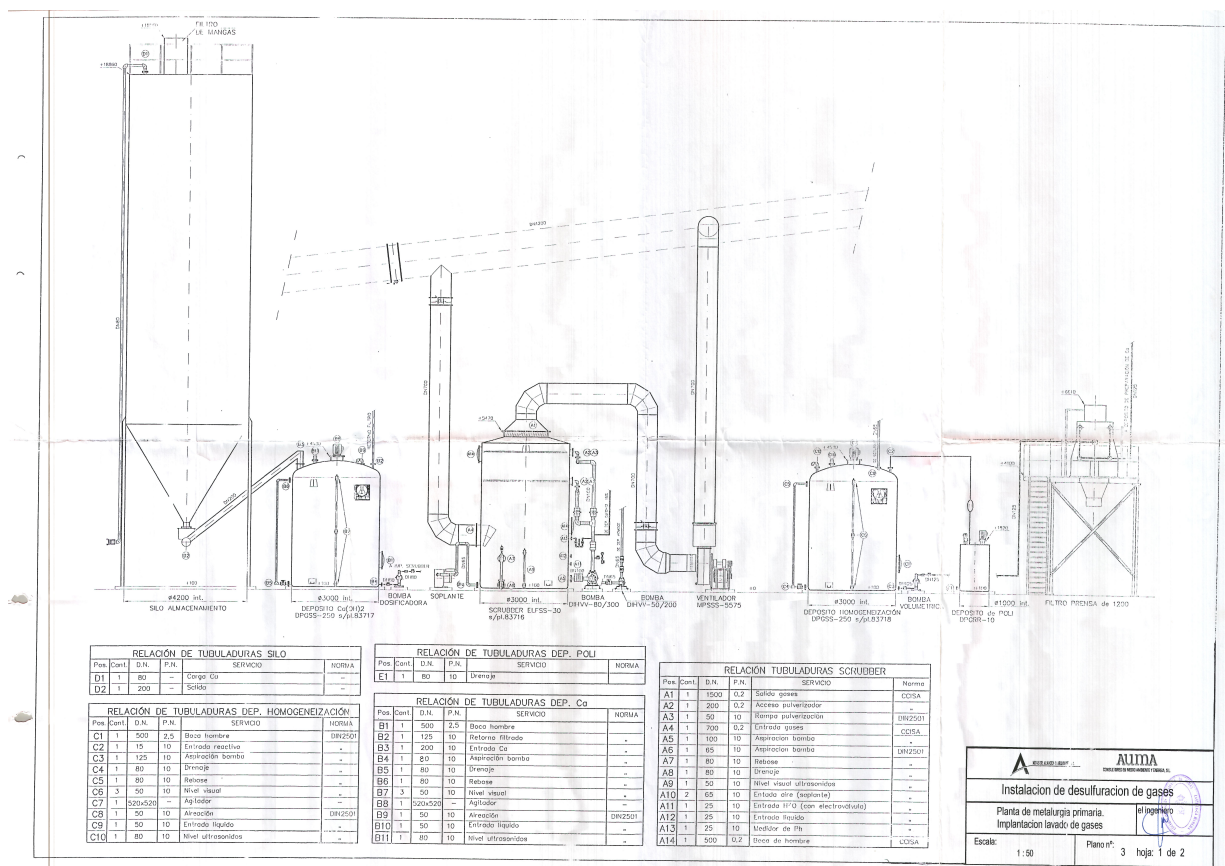
PLANO XXVI (Fig. 110)

- NOMBRE: Instalación de desulfuración de gases. Plano de situación (2002).
- AUTOR: AUMA.
- SIGNATURA: P-09080



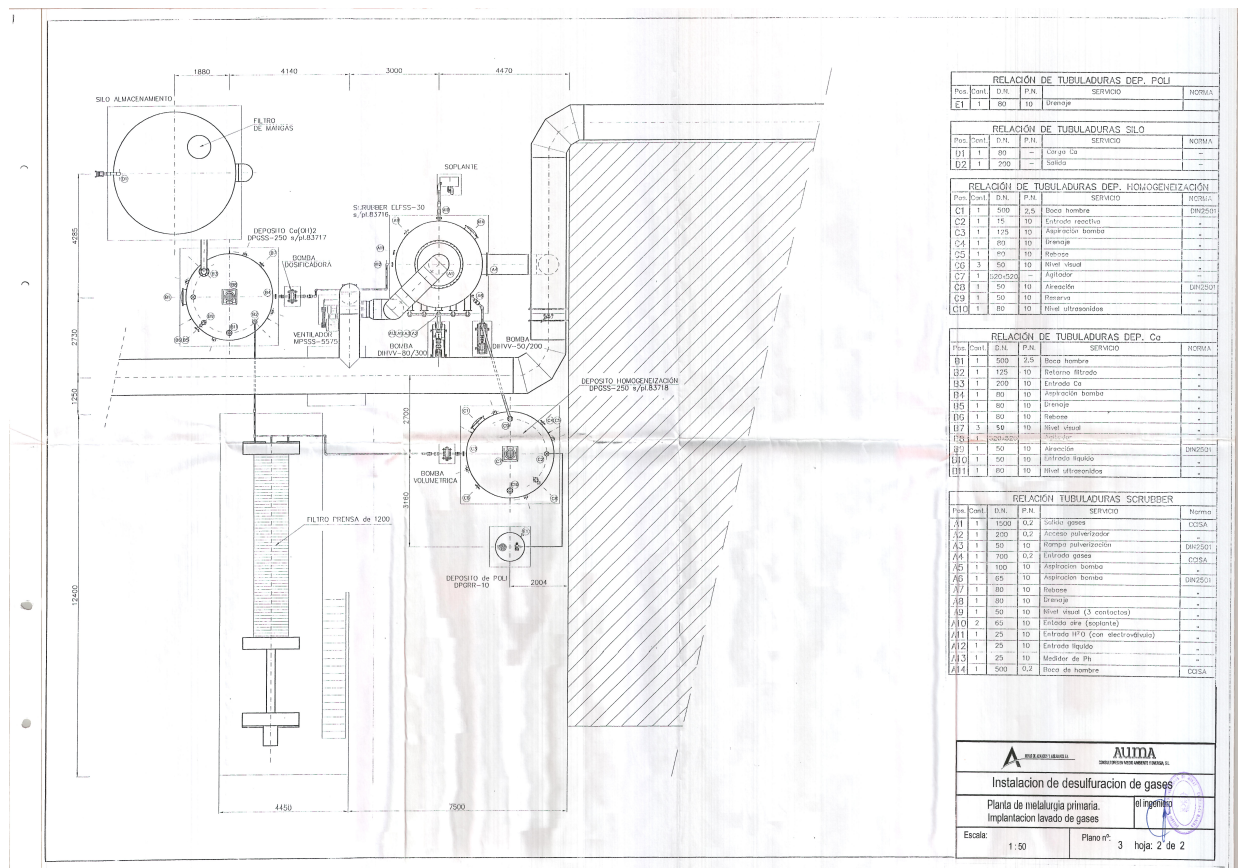
PLANO XXVII (Fig. 111)

- NOMBRE: Instalación de desulfuración de gases. Disposición general (2002).
- AUTOR: AUMA.
- SIGNATURA: P-09081



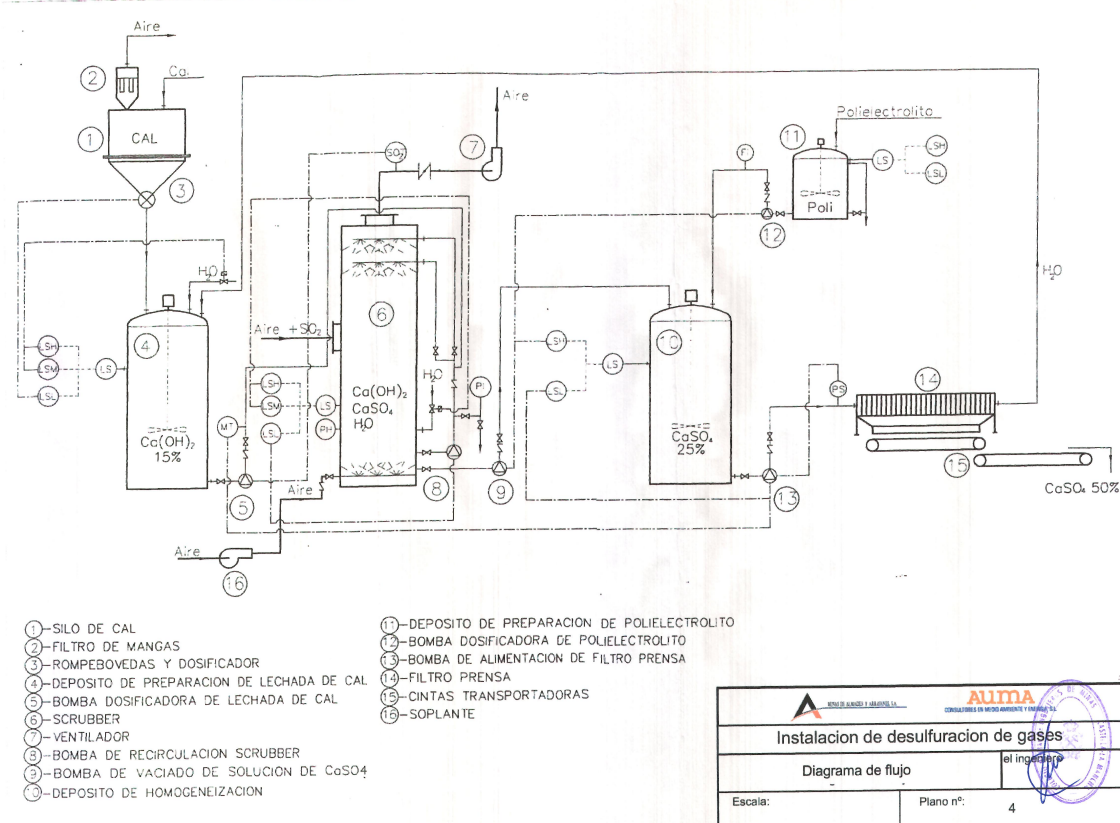
PLANO XXVIII (Fig. 112)

- NOMBRE: Instalación de desulfuración de gases. Implantación del lavado de gases (1 de 2) (2002).
- AUTOR: AUMA.
- SIGNATURA: P-09082



PLANO XXIX (Fig. 113)

- NOMBRE: Instalación de desulfuración de gases. Implantación del lavado de gases (2 de 2) (2002).
- AUTOR: AUMA.
- SIGNATURA: P-09083



PLANO XXX (Fig. 114)

- NOMBRE: Instalación de desulfuración de gases. Diagrama de la instalación de desulfuración de gases (2002).
- AUTOR: AUMA.
- SIGNATURA: P-09084

Córdoba, Junio 2017.



María Dolores Pérez Calle

